

Les Univers parallèles - Du géocentrisme au multivers

**Hürter, Tobias
Rauner, Max Rauner**

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

TOBIAS HÜRTER | MAX RAUNER

Les Univers parallèles

Du géocentrisme au multivers

CNRS EDITIONS

Présentation de l'éditeur



Et si notre Univers n'était qu'un parmi d'autres ? Et si chaque homme possédait une infinité de doubles ? Idée folle ? Pas si sûr...

Multivers, mégavers, plurivers... Cette idée n'est pas neuve. Dès l'Antiquité, des philosophes comme Démocrite ou Lucrèce en ont évoqué la possibilité. Au XX^e siècle, elle revient en force sur le devant de la scène. Pour les théoriciens du Big Bang comme pour ceux de la mécanique quantique, elle est une hypothèse qui permet de résoudre quelques-unes des questions demeurées sans réponse : par quel miracle les lois de l'Univers sont-elles réglées de telle façon que la vie y est possible ? Comment deux théories en apparence irréconciliables, la Relativité générale et la physique quantique, peuvent-elles être assemblées en un seul système unificateur ?

En un style clair et accessible, Tobias Hürter et Max Rauner racontent la vertigineuse épopée des théories physiques, faites de changements radicaux de paradigme et de violentes controverses. Ou quand la physique devient métaphysique, et la science rejoint la fiction...

Tobias Hürter et Max Rauner sont journalistes scientifiques. Max Rauner tient la chronique scientifique du Zeit.

Traduit de l'allemand par Julie Lelièvre

Tobias Hürter et Max Rauner

Les Univers parallèles

Du géocentrisme au multivers

Traduit de l'allemand par Julie Lelièvre

CNRS ÉDITIONS

15, rue Malebranche - 75005 Paris

À nos doubles.

© Piper Verlag GmbH, München, 2009.
© CNRS ÉDITIONS, Paris, 2012, pour la traduction française.

ISBN 978-2-271-07380-8

Cette œuvre est protégée par le droit d'auteur et strictement réservée à l'usage privé du client. Toute reproduction ou diffusion au profit de tiers, à titre gratuit ou onéreux, de tout ou partie de cette œuvre, est strictement interdite et constitue une contrefaçon prévue par les articles L 335-2 et suivants du Code de la Propriété Intellectuelle. L'éditeur se réserve le droit de poursuivre toute atteinte à ses droits de propriété intellectuelle devant les juridictions civiles ou pénales

Couverture

Présentation de l'éditeur

Titre

Copyright

Préface

1 - Bienvenue dans le multivers !

2 - La révolution copernicienne

3 - L'Univers devient infini

4 - Le multivers pour les débutants

5 - Du début de ce monde

6 - La cosmologie en crise

7 - Variantes du multivers

8 - La vie des autres

9 - Nos étranges voisins

10 - Lorsque le monde se divise

11 - Entre la physique et l'ésotérisme

12 - Multivers pour lecteurs avancés

13 - Du sens de la vie dans les mondes multiples

14 - Où est Dieu ?

Épilogue

Pour aller plus loin

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions

Préface

Avez-vous déjà eu envie de remonter le temps et de donner une autre tournure à votre vie ?

Le 7 novembre 2000, un tel pouvoir aurait été utile au vice-président américain Al Gore. C'est le jour de l'élection présidentielle. La nuit électorale devient film à suspense. On annonce d'abord à la télévision la victoire d'Al Gore, puis son adversaire George W. Bush se retrouve en tête dans l'État décisif de Floride. À deux heures et demie du matin, Al Gore fait une erreur lourde de conséquences. Il appelle Bush, le félicite de sa victoire et se laisse reconduire chez lui en voiture sous la pluie. Mais au cours de la nuit, l'avance de Bush en Floride se réduit, et à quatre heures moins le quart, Al Gore le rappelle. « *Things have changed* », dit-il à Bush.

Trop tard. L'image du perdant s'est déjà répandue dans le monde. Il s'ensuit une semaine de flottement puis la Cour suprême ordonne l'arrêt des vérifications des bulletins de vote en Floride. Le 43^e président des États-Unis s'appelle George W. Bush et non Albert A. Gore.

Quelques mois après les élections, alors que Bush est depuis longtemps en fonction, il se produit un événement curieux. La plus importante revue spécialisée de physique, *Physical Review*, publie un article extrêmement étrange du professeur de physique Alexander Vilenkin. À première vue, le texte semble totalement normal : dix pages où Vilenkin disserte sobrement et avec les formules habituelles sur la nature de l'Univers. Mais dans le dernier paragraphe il écrit : « *Certains lecteurs se réjouiront d'apprendre qu'il existe une infinité de régions [dans le cosmos], dans lesquelles Al Gore est président et (oui !) Elvis vit encore !* » L'auteur en rajoute une couche : « *Chaque fois que vous avez l'impression soudaine qu'un terrible malheur aurait pu arriver, soyez sûr qu'il s'est produit dans certaines régions [du cosmos]. Si vous avez failli avoir un accident, vous n'aurez pas eu autant de chance avec les mêmes antécédents dans d'autres régions.* »

Le physicien a-t-il succombé à son imagination ? Alexander Vilenkin aurait-il lu trop de mauvais romans d'anticipation ? Pas du tout. Ces spéculations, qui semblent relever de la science-fiction, sont traitées depuis peu très sérieusement. Personne ne devrait plus s'étonner que dans un magazine de physique paraisse un article parlant de doubles et d'Univers parallèles. Ce qui est vraiment surprenant, c'est que ça n'ait pas été le cas plus tôt.

Ce livre raconte cette théorie insolente et ses répercussions. L'idée fondamentale, qui peut être résumée en une phrase, est aussi simple qu'incroyable : notre Univers n'est qu'un Univers parmi de nombreux autres, où chaque homme possède, peut-être, un double.

Si cette idée vous semble folle, sachez qu'il en allait de même pour nous lorsque nous avons entamé nos recherches pour un article sur le multivers.

C'est ensuite devenu captivant. Au début, nous pensions que les Univers parallèles étaient une rêverie de physiciens farfelus. Mais nous avons rapidement découvert à quel point ce sujet obsède scientifiques et non-scientifiques et avec quelle force ils combattent les idées de leurs adversaires. Le multivers ne laisse personne indifférent.

De plus en plus de physiciens croient aujourd'hui qu'il n'existe pas un seul Tout mais de nombreux Univers, qui constituent une infinie diversité de mondes inconnus, comparable à une mer immense parsemée d'innombrables îles, certaines habitées, d'autres vides. Les réalisateurs hollywoodiens et les écrivains ont envisagé ce scénario qui désespère philosophes et théologiens. Mais aujourd'hui, la théorie des Univers parallèles est de plus en plus souvent défendue avec le plus grand sérieux par des scientifiques. Il est fort possible qu'en fait, ils aient raison. C'est, potentiellement, pour l'humanité, le plus grand bouleversement de l'image de soi depuis la révolution copernicienne. Au XVI^e siècle, Copernic mit fin à la représentation vieille de plusieurs siècles selon laquelle la Terre était au centre de l'Univers. Aujourd'hui, au lieu d'un Univers unique, des scientifiques postulent une infinie diversité d'Univers : le multivers, mégavers ou plurivers. C'est ainsi qu'ils nomment l'ensemble de tous les Univers. On ne peut pas faire plus grand.

« Dans cent ans », prophétise le physicien Leonard Susskind, « les philosophes et les physiciens repenseront avec nostalgie à l'époque actuelle et se souviendront d'un âge d'or au cours duquel la représentation étroite et petite-bourgeoise de l'Univers du XX^e siècle fit place à un mégavers plus grand et meilleur doté d'un paysage aux proportions vertigineuses. »

Les physiciens ont-ils perdu la tête ? La théorie du multivers a provoqué une violente controverse car il n'est absolument pas évident que l'on puisse un jour la vérifier. Mais l'enjeu est important. Et pas seulement pour la science. Pour chacun d'entre nous.

Ce livre raconte une révolution scientifique en direct. Il propose une aide à la navigation dans les étendues intellectuelles du multivers. Nous montrons comment les écrivains, réalisateurs et philosophes ont réfléchi à l'idée de ces mondes multiples, nous discutons des dangers de l'hypothèse du multivers pour la science et sondons les conséquences qui découleraient de l'existence réelle du multivers : Quel est le sens de la vie dans un multivers doté d'une infinité de doubles ? Rencontrerons-nous un jour nos doubles ? Et, de manière plus pragmatique : dois-je trier mes déchets si mon double dans l'autre monde jette tout dans la même poubelle ? Dois-je acheter un titre de transport alors que mon double fraude tous les jours dans les transports en commun ?

Le multivers semble trop fou pour être vrai. Mais l'idée d'une Terre tournant autour du Soleil et sur elle-même a été considérée comme absurde pendant des siècles. Deux cents ans plus tard, cette vision du monde appartenait à la culture générale, aujourd'hui c'est un simple fait.

Que doit-il donc arriver pour qu'une idée folle devienne l'opinion majoritaire des scientifiques et une vision du monde généralement admise ? C'est ce dont parle la première partie du livre. Nous récapitulons ici la révolution copernicienne, l'histoire moderne de la création par le Big Bang et la vision du monde de la cosmologie d'aujourd'hui et faisons connaissance pour la première fois avec le multivers. Si vous voulez prendre un raccourci, lisez le quatrième chapitre et la deuxième partie du livre (chapitres 8 à 14). Nous nous demandons dans cette partie pourquoi la théorie du multivers est tellement appréciée aujourd'hui par les spécialistes et nous mettons à la recherche de nos doubles dans les Univers parallèles. En effet, les physiciens ont déjà calculé à titre préventif à quelle distance nous pourrions rencontrer notre double le plus proche. Nous accompagnons les astronomes dans leur quête d'une vie intelligente et examinons la quête de plus en plus désespérée de la théorie du Tout. Nous nous interrogeons enfin sur le sens de la vie et la place de Dieu dans le multivers.

Ce livre a deux auteurs venant du même monde, mais dont les opinions diffèrent. Pendant un an, ils ont fait des recherches, compulsé des livres et mené d'innombrables entretiens avec des sceptiques et des tenants de la théorie du multivers. Dans le même temps, Tobias Hürter s'est fait à l'idée que le monde dans lequel nous vivons est peut-être constitué de mondes multiples. Max Rauner, quant à lui, a trouvé la théorie du multivers de plus en plus folle, ce qui a permis d'amusantes discussions. Ce livre ne vise pas à convertir qui que ce soit. Nous voulons convaincre qu'il vaut la peine de réfléchir à ce qui ne nous est pas visible. Libérez votre esprit pour le plus grand de tous les mondes.

Tobias Hürter et Max Rauner
Octobre 2009

1

Bienvenue dans le multivers !

Il est vraiment possible que Dieu ait créé plusieurs millions de mondes.

Emmanuel Kant,
Pensées sur la véritable évaluation des forces vives, 1746

NICOLAS COPERNIC ET LA RÉVOLUTION COPERNICIENNE

Le cercueil était bien conservé et se trouvait à 32 centimètres de profondeur sous le sol en marbre. Recouvert de fer à l'extérieur et de tissu à l'intérieur. Le crâne reposait sur un coussin de soie rempli de paille, le squelette était fin. Une femme d'environ 20 ans, estimèrent les archéologues. Sans intérêt, décidèrent-ils et ils continuèrent de creuser.

Dans la deuxième tombe, ils découvrirent les ossements d'un homme d'environ 50 ans, les os de la face défoncés, ils endommagèrent la troisième au moment de l'exhumation, dans les quatrième et cinquième, des hommes entre 40 et 50 ans. Cela continua ainsi mois après mois. Tels des cochons en quête de truffes, les chercheurs s'enfoncèrent dans la cathédrale de Frombork, sur la côte baltique de la Pologne. Dans la treizième tombe, près de l'autel de la Sainte-Croix, ils trouvèrent le crâne d'un homme qui devait avoir entre 60 et 70 ans. Étaient-ce là les os si longuement recherchés ? Une comparaison ADN avec un cheveu retrouvé dans le livre de la personne recherchée le confirma avec certitude en novembre 2008 : il s'agissait bien du crâne de Copernic, chanoine de Frombork, astronome amateur, mort en 1543 et responsable de la plus grande révolution de mémoire d'homme.

« *Un grand événement pour Frombork* », selon l'évêque Jacek Jezierski, à l'origine de la recherche de la dépouille de Copernic. Au printemps 2010, les ossements furent à nouveau inhumés solennellement dans un « *beau sarcophage* », comme l'avait promis l'évêque. Le monde s'émut.

Quelle carrière ! Ignoré de son vivant, rebelle peu après sa mort, héros aujourd'hui.

Copernic renverse une vision du monde vieille de 2 000 ans et bannit les hommes du nombril de l'Univers. Depuis l'Antiquité, les hommes croyaient

que la Terre était au centre du monde et que le Soleil, comme les autres planètes, tournaient autour de la Terre. Illusion, affirme Copernic. En réalité, c'est le Soleil qui est au centre et la Terre qui tourne autour de lui sur une orbite qui passe entre Vénus et Mars. Le passage du jour à la nuit est provoqué par la rotation de la Terre sur elle-même. Au moment où son œuvre sur l'héliocentrisme, *De revolutionibus orbium coelestium*, est publiée à Nuremberg, Copernic, alors âgé de soixante-neuf ans, est terrassé par une attaque à Frombork. Il meurt quelques mois plus tard mais ses idées font leur chemin. L'Église résiste. En vain.

La révolution copernicienne ébranla l'image qu'avaient les hommes d'eux-mêmes. L'Église finit par se résigner. Non seulement Copernic est enterré une seconde fois avec solennité en 2010, mais Galilée, assigné à résidence de son vivant pour avoir défendu la théorie héliocentrique, obtint 400 ans plus tard la plus haute reconnaissance de la part de ses anciens adversaires. Le Vatican l'honore, pendant l'année internationale de l'astronomie, au cours d'une messe. Le pape Benoît XVI fit expressément l'éloge de Galilée dans son message de Noël et ajouta que les lois de la nature étaient « *une bonne occasion de commémorer avec gratitude la création du Seigneur* ».

Autant de signes d'excuses et de rectifications, mais les scientifiques sont déjà allés plus loin. Alors que l'Église commence à peine à assumer son passé, ils envisagent un bouleversement qui pourrait éclipser la révolution copernicienne : notre Univers ne serait qu'un parmi d'autres et chaque être humain pourrait avoir un double dans les autres Univers. C'est en tout cas ce qu'affirment des physiciens sérieux. Ils font des recherches dans les meilleures Universités du monde, publient dans de célèbres revues spécialisées et font partie de l'élite de la physique théorique.

Et ils le pensent vraiment.

Un demi-millénaire après Copernic, une nouvelle révolution gronde : l'Univers serait multivers. Il n'existerait pas un, mais une infinité d'Univers. Nous habiterions l'un d'entre eux, une niche dans un cosmos pluralisé. Chaque monde concevable existerait réellement, chaque histoire possible se déroulerait quelque part.

ALEXANDER VILENKIN ET LA « MOUSSE D'UNIVERS »

Si le tournant copernicien était une « offense », selon le mot de Sigmund Freud, alors le multivers est un outrage. Le professeur de physique Alexander Vilenkin de l'Université Tufts près de Boston, Massachussets le formule ainsi en toute lucidité : « Avec la relégation de l'humanité à une totale insignifiance cosmique, notre bannissement du centre de l'Univers est irrémédiablement accompli. » L'achèvement de la révolution copernicienne est un projet collectif et Vilenkin, un homme mince et silencieux d'une soixantaine d'années, est l'un des chefs de file de ce projet.

Longtemps, l'Église a eu le monopole de l'histoire de la création. Puis vinrent les savants Universels comme Copernic et Newton. Aujourd'hui, ce sont des physiciens comme Vilenkin qui nous expliquent le monde. Qu'y avait-il au commencement ? D'où venons-nous ? Où allons-nous ? En 1915, Albert Einstein formula la théorie de la Relativité générale, qui permit aux physiciens de prévoir les trous noirs, l'expansion de l'Univers et la naissance des étoiles et des galaxies. Dix ans plus tard, la théorie quantique décrivit le tout petit monde de l'atome. Vers 1950, les physiciens développèrent la théorie du Big Bang, selon laquelle toute la matière et l'énergie de l'Univers aurait été concentrée à un moment en un point brûlant et dense et se serait ensuite dispersée.

Vilenkin a l'habitude de sortir des sentiers battus. A seize ans, alors qu'il étudiait la physique, la théorie du Big Bang devenait de plus en plus populaire et l'Union soviétique de plus en plus inconfortable. L'étudiant Vilenkin refusa de devenir informateur du KGB, qui le mit sur sa liste noire. Les métiers de l'éducation lui furent alors interdits. Vilenkin s'engagea comme gardien de nuit dans le zoo de Kharkov, une ville du nord de l'Ukraine. Il devait surveiller un kiosque vendant de l'alcool. Il avait une arme mais ne savait pas s'en servir. Les animaux derrière les barreaux lui faisaient pitié. Les nuits où il n'était pas saoul, il pensait à l'Univers. En 1976, à 26 ans, Vilenkin put émigrer. Deux ans plus tard, il obtint un poste de professeur à l'Université Tufts. C'est là qu'il eut l'idée insolente des mondes multiples.

Lorsque Vilenkin évalua, avec son collègue russe Andreï Linde, la force qui avait fait se dilater l'Univers après le Big Bang, ils arrivèrent à la conclusion que la dilatation devait continuer hors des limites observables de notre Univers. Plus tard, ils ont postulé qu'au-delà de la portion visible par nous de l'Univers se forment constamment de nouveaux Univers, comme les bulles d'un bain moussant (ils parlent de « mousse d'Univers »). Un Big Bang, un Univers, un lot de lois et constantes physiques par bulle. Et parce qu'il existe une multitude si inimaginable d'Univers, il existe également dans certains d'entre eux des êtres vivants, voire des êtres humains.

« Le Big Bang qui s'est produit dans notre partie du multivers n'était pas un événement unique comme nous le pensions jusqu'à présent, explique Vilenkin. Il existe d'innombrables Big Bang dans des lieux éloignés, beaucoup ont eu lieu dans le passé, mais beaucoup se produiront dans le futur. Ils font naître des régions qui ressemblent en partie à notre Univers mais sont en partie totalement différentes. Ce processus ne s'arrête jamais. »

Dans cette nouvelle image du cosmos, notre Univers local semble aussi minuscule qu'un grain de sable dans le désert. Certains des autres Univers sont désolés, d'autres dominés par des lois de la nature étranges ou baignés de particules circulant plus vite que la lumière. Dans d'autres, des ombres fantastiques passent à travers des dimensions supplémentaires. Certains Univers ressemblent au nôtre, mais John F. Kennedy y est encore en vie et

marié à Marilyn Monroe. Dans d'autres encore, affirme Vilenkin, il existe des doubles de la Terre, où les dinosaures ont survécu et où roulent de grosses voitures. Dans d'autres encore, l'Allemagne nazie n'a pas perdu la guerre mais contrôle le monde, « *malheureusement* », ajoute Vilenkin. « *Tout ce qui n'est pas interdit par les lois de la nature existe.* »

Auparavant, un silence gêné accueillait souvent la fin des conférences de Vilenkin. Aujourd'hui, les auditeurs applaudissent. Certes, la représentation de mondes multiples est incroyable. Mais la représentation copernicienne du monde l'était également il y a 500 ans.

LEONARD SUSSKIN ET LA THÉORIE DES CORDES

La théorie du multivers pourrait résoudre l'une des plus grandes énigmes de l'humanité : notre existence. L'Univers semble fait depuis le Big Bang pour engendrer un jour des étoiles, des galaxies, des planètes et des hommes. En effet si les constantes de la nature comme la charge des électrons ou la gravité avaient été juste un peu différentes, après le Big Bang, les atomes ou les étoiles n'auraient jamais pu être créés. Notre existence est-elle un heureux hasard ? Ou découle-t-elle impérativement des lois de la nature ? Einstein le formula ainsi : Dieu avait-il le choix, lorsqu'il créa notre Univers ? Dieu n'était pour Einstein qu'un artifice rhétorique. Il ne cherchait pas Dieu mais une théorie du Tout qui décrirait précisément notre Univers, et lui seul, avec toutes ses caractéristiques. Il ne formula jamais cette théorie que des physiciens cherchent encore aujourd'hui.

Leonard Susskind, né en 1940, professeur de physique à l'Université Stanford en Californie, est l'un de ceux qui veulent réaliser ce rêve. Il cherche à bâtir une théorie globale qui expliquerait le Big Bang comme le nanomonde, une synthèse de la théorie de la Relativité et de la théorie quantique : la théorie du Tout. Un jour, espère-t-il, il sera possible de calculer à partir d'une seule formule mathématique toutes les lois et constantes de la nature de ce monde. La forme de l'Univers serait alors une conséquence logique de cette loi Universelle.

Dans les années 1980, Susskind a cru avoir trouvé la clé de la théorie du Tout grâce à la théorie des cordes, dont il est l'une des chevilles ouvrières. Mais la théorie des cordes n'a pas fourni une, mais une infinité de formules. En 2005, Susskind a commencé à penser qu'il ne peut exister une unique théorie du Tout parce que le monde lui-même n'est pas unique. Chaque solution de la théorie des cordes décrit peut-être un Univers réel, avec ses propres lois et constantes de la nature, sa propre histoire et son propre avenir. Dans certains Univers, la force de gravitation est si forte, qu'après peu de temps, ils s'écroulent sur eux-mêmes, d'autres sont éternels mais restent vides, d'autres encore produisent des étoiles mais pas de planètes. Et notre Univers avait précisément les lois de la nature nécessaires pour,

14 milliards d'années après le Big Bang, produire des êtres humains intelligents s'interrogeant sur son origine. Notre monde est une île hospitalière à la vie dans la mer des mondes.

La fondamentale question immémoriale « Pourquoi le monde est-il tel qu'il est ? », obtient dans le multivers une réponse toute simple : notre monde n'est que l'un des innombrables autres mondes, qui sont en partie très différents et en partie semblables au nôtre. Notre Univers n'est pas un cas particulier mais une normalité statistique. Aussi normal qu'un tirage gagnant au loto lorsque suffisamment de gens ont joué. Pour le joueur isolé, gagner au loto peut sembler un miracle, mais pour l'ensemble des joueurs ce n'en est pas un.

Dans le multivers, tout est possible et tout est normal.

Le scénario de Susskind ressemble de manière frappante au multivers à bulles d'Alexander Vilenkin. Susskind a changé de camp. Il a remplacé la théorie du Tout par celle du multivers. « *Un grand nombre de mes collègues ne veulent pas l'admettre* », dit Susskind, « *ils voudraient un Univers élégant mais l'Univers n'est pas du tout si élégant.* » C'est comme ça ici, autrement ailleurs, tantôt simple, tantôt compliqué. La théorie du multivers gagnera, tempête Susskind « *et les physiciens qui tentent de le contester perdront* ».

*

Leonard Susskind et Alexander Vilenkin viennent de différentes branches de la physique, l'un explore la théorie des cordes, l'autre celle du Big Bang. C'est par des chemins différents qu'ils sont venus au multivers. Leurs collègues étudiant la physique quantique discutaient eux-aussi depuis longtemps de la possibilité de l'existence d'un grand nombre de mondes. Les chemins se rejoignent, c'est l'une des raisons pour lesquelles la théorie est discutée si vivement aujourd'hui. Mais aussi, la théorie du multivers semble relever de la science-fiction, et pour beaucoup de chercheurs, elle va à l'encontre de leur éthique professionnelle.

Après l'élaboration de la théorie héliocentrique par Copernic, ce n'était qu'une question de temps avant que Galilée observe le ciel avec un télescope et y découvre des preuves. Une telle preuve directe du multivers n'existera bien sûr jamais. Mais l'on peut adhérer à une théorie sans disposer de preuves directes. Les philosophes de la nature spéculaient déjà sur l'existence de l'atome il y a 2 000 ans. Des indications indirectes furent finalement découvertes au XIX^e siècle et ce n'est qu'en 1955 qu'un microscope spécial, le microscope ionique à champ de Erwin W. Müller permit, pour la première fois, de voir un atome isolé. La théorie de la relativité d'Einstein est aujourd'hui tellement reconnue que les physiciens l'utilisent pour prévoir les trous noirs, bien qu'aucun chercheur n'ait jamais vu de trou noir (même pas dans l'accélérateur de particules LHC près de Genève). La théorie de la relativité, contrairement à la théorie du multivers, a résisté à de nombreux

tests expérimentaux. La théorie du multivers doit également pouvoir être testée. Si elle fournit des explications utiles pour notre propre Univers, on pourrait également prendre au sérieux ses assertions sur les Univers parallèles. Si le multivers restait une pure spéculation, serait-ce la fin de la physique ? Reviendrait-elle à son début ? Car c'est ainsi que commença la science il y a 2 500 ans dans la Grèce antique : en philosophant sur la nature.

Plusieurs éléments doivent être réunis pour qu'une nouvelle théorie scientifique devienne la vision du monde d'une époque toute entière. Le sociologue Thomas Kuhn, aujourd'hui décédé, a fait des recherches sur les renversements de ce genre et la révolution copernicienne était son exemple favori. Il en tirait le concept, célèbre dans les années 1970, de « changement de paradigme ». La thèse de Kuhn est la suivante : le progrès scientifique n'est pas un progrès en ligne droite ni une accumulation et une extension constantes des connaissances. Il se fait par bonds. Aux phases calmes de « science normale » succèdent des phases virulentes, puis des révolutions scientifiques au cours desquelles un nouveau paradigme remplace l'ancien. Lorsque Copernic étudiait à Cracovie, Christophe Colomb naviguait vers des continents inconnus. Il fallait réécrire la géographie de la Terre. À Wittenberg, Luther affichait ses thèses sur la porte de l'église du château. L'imprimerie était inventée. Le monde était prêt pour un changement de paradigme.

Peut-être en sommes-nous au même point aujourd'hui. Le monde du XXI^e siècle est globalisé, confus, pluralisé. Le multivers lui conviendrait bien : vision du monde des postmodernes ! Mais elle ne s'imposera pas plus facilement que la vision du monde copernicienne, qui mit 150 ans à s'imposer, de la mort de Copernic à la publication de la théorie de la gravitation de Newton en 1687. Pourquoi cela irait-il plus vite cette fois-ci ? Personne n'accepte comme ça l'idée de vivre simultanément dans d'innombrables Univers parallèles. Et jusqu'à présent, la thèse selon laquelle il existerait plusieurs Univers n'est qu'un soupçon qui s'accroît. Ce n'est que lorsqu'il résistera sur quelques points à des tests empiriques que nous vivrons la suite d'une nouvelle révolution copernicienne.

Mais un parallèle à la situation d'il y a 500 ans se profile déjà : Copernic n'a pas inventé l'héliocentrisme, il n'a fait qu'aider cette théorie à être reconnue. D'autres y avaient pensé avant lui. Il en va de même du multivers. La théorie des mondes multiples, elle aussi, a de profondes racines dans l'histoire des idées. Dès le premier siècle avant Jésus-Christ, le poète romain Lucrèce prophétisait que « *le ciel, l'océan, les astres, le soleil sont répandus en nombre infini* ». Au XIII^e siècle, les ecclésiastiques et les savants débattaient pour savoir si un Dieu chrétien pouvait avoir créé une infinité de mondes. Au XVII^e siècle, le philosophe Gottfried Wilhelm Leibniz pensait que Dieu avait réalisé avec notre monde « *le meilleur de tous les mondes possibles* ».

Emmanuel Kant médita sur des Univers-îles très éloignés dans le cosmos. Les idées de multivers se retrouvent aujourd'hui dans les œuvres d'écrivains célèbres tels que Vladimir Nabokov et Jorge Luis Borges et sous le nom d'histoire alternative, tout un genre littéraire, l'uchronie, traite la question : comment se serait déroulée l'histoire si... ?

Dans le multivers, l'histoire alternative n'est plus de la fiction mais une partie de la science de l'histoire. Depuis toujours, l'homme a pensé avec horreur et envie à des mondes inconnus. Notre époque pourrait être celle dans laquelle la fiction se révèle être la réalité. Le multivers pourrait devenir la vision du monde du XXI^e siècle. Mais il n'est encore absolument pas certain que cette vision s'impose comme un nouveau paradigme. C'est dans l'ampleur de la vision du multivers que les critiques reconnaissent son plus grand point faible. Elle ne serait que pure spéculation, une construction de l'imagination appelée à s'écrouler. « *Je pense que cette idée est dangereuse* », explique le professeur de physique Paul Steinhard de l'Université de Princeton. La théorie serait trop hypothétique, « *la science arriverait à une fin déprimante* ».

Qui accepte le multivers sacrifie les idéaux sublimes de la science, notamment l'exigence de vérification empirique par l'expérience. Car les Univers parallèles sont naturellement inaccessibles aux observations directes. Les rayons lumineux ne peuvent pas passer d'un Univers à l'autre. Un scientifique peut-il tout de même parler d'eux ? La question divise les physiciens. C'est une trahison aux principes éternels de la recherche empirique pour les uns, une libération de la science de la nature, une ouverture à des questions jusqu'ici inaccessibles, pour les autres.

Les positions sont prises. La lutte peut commencer.

2

La révolution copernicienne

Rien.

Journal de Louis XVI
à la date du 14 juillet 1789

L'évêque Dansticus s'impatiente. Dans un courrier, il exhorte Copernic à respecter enfin le célibat. Nous sommes en 1538, cela fait déjà plus de 40 ans que Nicolas Copernic exerce les fonctions de chanoine à Frombork (Frauenburg en allemand), dans l'est de la Prusse. Il prie pour les riches, écrit sur la réforme de la monnaie et se préoccupe du prix du pain, tout en s'adonnant de temps en temps à sa passion : l'astronomie. En tant que chanoine, il se doit de mener une vie chaste. Une gageure à laquelle fait obstacle sa gouvernante, Anna Schillings.

Copernic était un fonctionnaire de l'Église comme les autres, vices habituels compris (l'évêque Dansticus, par exemple, avait un enfant naturel en Espagne), mais consciencieux. Il congédia Anna Schillings. Cependant, il décida au même moment de faire imprimer le livre qu'il avait laissé de côté depuis longtemps : *De revolutionibus orbium coelestium* (« Des révolutions des sphères célestes ») et par lequel il allait pour la première fois vraiment provoquer l'Église, dont il bouleversait la vision du monde de celle-ci.

Elle remplaçait le cosmos rassurant des Anciens par un espace infini et inquiétant. Le « *revolutionibus* » du titre de l'œuvre était alors un terme technique désignant la rotation des corps célestes. Ce n'est que plus tard que le terme de « révolution » fut également employé pour parler des renversements politiques. Copernic avait fomenté la mère de toutes les révolutions. Mais il était non-conformiste contre son gré. Sa pensée était en réalité conservatrice et il souhaitait restaurer la vision du monde des Grecs de l'Antiquité. Il ne cessait d'affirmer que l'héliocentrisme était une vue de l'esprit purement mathématique. D'autres approfondirent ses théories et les défendirent envers et contre tout : Tycho Brahe, Johannes Kepler, Galilée et Isaac Newton. La révolution copernicienne dura un siècle et demi jusqu'à ce que la théorie de la gravitation Universelle de Newton y mette fin en 1687. L'homme venait de quitter le centre du monde pour n'y jamais revenir.

L'Univers devint alors méconnaissable. « *Tout est en morceaux* », se lamentait l'écrivain anglais John Donne au début du XVII^e siècle, « *toutes les relations, tous les bons appuis et les références se sont évanouis*¹ ». Friedrich Nietzsche écrivait en 1885 : « *Depuis Copernic, l'homme roule du centre vers l'x*² ». Sigmund Freud décrivit la révolution copernicienne, avec la théorie de l'évolution de Darwin et sa propre psychanalyse, comme l'une des trois grandes offenses infligées à l'« *amour-propre naïf* » de l'humanité, l'« *offense cosmologique* ». Et le prix Nobel de médecine Jacques Monod résuma encore en 1970 : « *[L'homme] sait maintenant que, comme un tzigane, il est en marge de l'Univers où il doit vivre. Univers sourd à sa musique, indifférent à ses espoirs comme à ses souffrances ou à ses crimes.*³ »

La révolution copernicienne marque le début de la science moderne. Copernic, Kepler et Galilée commencent à décrire la nature dans la langue des mathématiques. L'expérience s'impose comme méthode permettant d'acquérir de nouvelles connaissances. L'objectif du savant consiste à décrire le plus de phénomènes possible à partir d'un nombre réduit de principes. Leur nouvelle idée directrice est que la nature suit des lois constantes, même si, dans un premier temps, le rôle de Dieu dans la fixation des lois n'est pas contesté.

Aujourd'hui, la science du cosmos, la cosmologie, connaît une phase tranquille. Le paradigme dominant est la théorie du Big Bang. Aucun scientifique ne la met en doute. Le modèle du Big Bang explique de nombreuses observations des astronomes. Mais pas toutes. Plus ils mesurent avec précision l'Univers, plus ils distinguent de défauts dans la théorie. Ils ont besoin d'étranges hypothèses pour maintenir le modèle : au cours de la première seconde, l'Univers a dû se dilater incroyablement vite, poussé par une force puissante. Mais laquelle ? Dans les années 1990, les physiciens constatèrent que 70 % de l'Univers avaient dû leur échapper, c'est ce qu'on appelle « *énergie noire* » ou « *énergie sombre* ». Disloque-t-elle l'Univers comme une espèce d'antigravitation ? Ou n'est-elle qu'une illusion d'optique ? Les scientifiques sont déroutés.

La quête d'une théorie du Tout qui expliquerait tout, de l'atome à l'Univers, a été interrompue. La théorie des cordes⁴, qui est depuis 20 ans la candidate la plus prometteuse à cette théorie du Tout, est encore mal définie. Traversons-nous une crise ? Cela en a tout l'air. Sommes-nous à la veille de la prochaine révolution scientifique ? Les historiens ne pourront en juger que dans un futur encore incertain.

Sur le moment, les révolutions semblent souvent insignifiantes. « *Ses contemporains ne le comprenaient pas alors que ceux qui vécurent après lui comme Brahe, Bruno, Kepler et Galilée reprirent le flambeau allumé par Copernic* », explique le philosophe allemand et biographe de Copernic, Martin Carrier. « *Il faut parfois des décennies avant que les bouleversements scientifiques soient reconnus et souvent encore plus longtemps avant que le public ne les admette.* » La théorie de l'évolution, elle aussi, ne fut admise dans la science

qu'un demi-siècle après sa formulation par Darwin. « *Parfois, il arrive que les révolutions soient avortées et qu'on en revienne aux anciennes conceptions* », explique Carrier. Il ajoute : « *Les contemporains ne remarquent souvent rien des révolutions qui ont lieu sous leurs yeux.* » Cela vaut également pour ceux qui se trouvent au cœur des événements : le 14 juillet 1789, Louis XVI rentre bredouille de la chasse. Il note un seul mot dans son journal : « *Rien* ». Les barricades brûlent déjà à Paris. Prise de la Bastille. Quatre ans plus tard, le roi de France est guillotiné.

Le multivers, nouvelle vision du monde ou « rien » ? Il est encore trop tôt pour répondre, mais non pour se poser des questions, toujours les mêmes depuis que les hommes inventent des visions du monde : Comment s'est constitué l'Univers ? Quelle est la place de l'homme dans le monde ? Pourquoi le monde est-il tel qu'il est ? Et qu'est-ce qui est vraiment vrai ?

DU MYTHE À LA MÉCANIQUE CÉLESTE

Il y a 3 000 ans, la vérité ressemblait à ceci : chaque matin, un disque lumineux surgit à l'est, se déplace dans le ciel et se couche à l'ouest le soir. C'est le Soleil. Le spectacle se répète toutes les 24 heures environ, le disque est plus haut en été, plus bas en hiver. Après environ 365 jours, les saisons recommencent du début. La nuit, les étoiles s'allument dans le ciel, leur position dépend également des saisons. Puis il y a la lune, qui apparaît parfois la nuit, parfois le jour, parfois en demi-lune, puis à nouveau en pleine lune, ainsi que quelques points plus lumineux, les planètes, qui oscillent de manière assez irrégulière à travers le firmament, en avant puis en arrière, rapides puis lents, lumineux puis pâles.

Chaque peuple civilisé s'est fait sa propre idée du désordre apparent du ciel. Égyptiens, Indiens, Chinois et Babyloniens construisirent leur cosmologie. Le terme grec *kosmos* signifie ordre et beauté : cosmologie et cosmétique ont la même racine. L'homme aspire à un foyer dans le monde, la cosmologie le lui donna. Elle offrit une scène à ses tâches quotidiennes et aux activités des dieux. La cosmologie était une projection de la réalité quotidienne, tout à la fois conception du monde, superstition, idéologie, philosophie, religion et astronomie. Pour les Égyptiens de l'Antiquité par exemple, la Terre était une plaque oblongue : ils n'avaient après tout exploré leur pays qu'en longeant le Nil. La plaque flottait sur l'eau et était surmontée par la voûte du ciel. Le soleil incarnait le roi Rê, qui possédait deux bateaux, l'un pour son parcours diurne à travers les airs, l'autre pour le retour nocturne sur l'eau. Pour les Babyloniens, en Mésopotamie (actuel Irak), la Terre était une montagne creuse et l'eau, mélange d'eau salée et d'eau douce, l'origine de toutes choses, la Lune une divinité dont la couronne changeait de forme à chaque phase. Les cosmologies chinoises comparaient, quant à elles, le ciel à une coquille d'œuf et considéraient la Terre comme un disque plat à

la place du jaune, entouré d'eau.

Voilà qui avait encore peu à voir avec la science. Certes, ces cultures anciennes observaient déjà la course des étoiles et des planètes. À l'âge de pierre, les habitants de Stonehenge en Angleterre auraient édifié un observatoire primitif constitué de quarante tonnes de lourdes pierres. Au VIII^e siècle av. J.-C., les Babyloniens notèrent méticuleusement les positions des planètes, au V^e siècle, ils calculèrent l'année tropique (l'année de retour des saisons). Dès 1 400 av. J.-C., les Chinois consignèrent en écriture osséaile l'apparition d'« étoiles invitées » dans le ciel, des étoiles « temporaires », nommées plus tard par les savants occidentaux « novae ».

Mais les hommes n'en étaient pas encore à déduire de manière systématique de leurs observations du ciel une cosmologie. Les Grecs de l'Antiquité furent les premiers à le faire entre 600 et 450 av. J.-C., en particulier un groupe de philosophes (dont Thalès et Anaximandre) de la ville de Milet, dans l'actuelle Turquie de l'Ouest, et Pythagore et ses disciples dans la colonie grecque de Crotone, dans l'actuelle Italie du Sud. Comme leur vie et leur œuvre se situent principalement avant la naissance de Socrate, on les appelle désormais les Présocratiques⁵.

Pour les Présocratiques, le monde n'était pas qu'un simple décor pour les dieux et les hommes. Ils voulaient expliquer ce qu'ils voyaient : le mouvement régulier du Soleil et de la Lune, les trajectoires des planètes. Zeus et les autres dieux habitaient encore l'Olympe, mais n'étaient plus responsables de chaque écart fait par une étoile. Pour la première fois, l'homme tenta de déduire le fonctionnement du monde à partir de principes simples, avec la raison plutôt que la superstition, la mécanique plutôt que le mythe, la science plutôt que les miracles. Certains historiens parlent de cette époque comme de la « première » révolution scientifique. La révolution copernicienne serait alors la deuxième.

Thalès de Milet aurait été tellement plongé dans ses pensées en réfléchissant au mouvement des étoiles qu'il tomba un jour dans un puits. C'est du moins ce que rapporte Aristote. L'élève de Thalès, Anaximandre de Milet, rédigea le premier écrit sur la cosmologie grecque. Au VI^e siècle av. J.-C., il décrivit une Terre cylindrique « *comme une colonne de pierre* », reposant au centre de l'Univers. Les étoiles qu'on voyait dans le ciel étaient selon lui de petites ouvertures dans les jantes creuses de roues tournant, qui brillaient à travers l'air brûlant. Le Soleil était également une ouverture dans une roue située autour de la Terre, mais dont le rayon était 27 fois plus grand que celui de la Terre. Lors d'une éclipse de Soleil, selon Anaximandre, le passage pour la lumière du Soleil se ferme. Cette idée est complètement fausse, mais il s'agit tout de même d'un mécanisme.

À Crotone, à 900 kilomètres de là, Pythagore et ses disciples tentaient d'expliquer le monde à l'aide des mathématiques. Vers 530 av. J.-C., Pythagore, âgé de 40 ans, quitta, dit-on, la Grèce pour s'installer en Italie du Sud, où il fonda une école philosophique et religieuse. Lui-même n'a laissé

aucun écrit, car il dirigeait son école comme une société secrète. On sait cependant avec certitude que les Pythagoriciens connaissaient déjà les cinq polyèdres réguliers convexes, corps particulièrement symétriques, également appelés solides de Platon, et qu'ils les attribuaient aux éléments. La Terre était constituée de cubes (friables, car anguleux), le Feu de tétraèdres (avec 4 sommets, 6 arêtes, 4 faces, pointus comme la chaleur du feu), l'Air d'octaèdres (6 sommets, 12 arêtes, 8 faces) si petits qu'on peut à peine les sentir et l'Eau d'icosaèdres (avec 12 sommets, 30 arêtes, 20 faces, presque des petites boules, ils glissent comme l'eau). Les Pythagoriciens associèrent le dodécaèdre (20 sommets, 30 arêtes, 12 faces) à l'ensemble du cosmos. Ils pensaient que la Terre était sphérique.

LE MULTIVERS DES GRECS DE L'ANTIQUITÉ

Les visions du monde des Présocratiques étaient de folles spéculations, mais comment la cosmologie aurait-elle pu sinon à l'époque s'émanciper des dieux ? Les télescopes n'existaient pas encore. Aujourd'hui, les dieux sont hors-jeu et les astronomes envoient des télescopes dans l'espace. Mais les mesures que l'on fait du monde sont encore loin de pouvoir répondre à toutes les questions sur l'origine et le développement de l'Univers. Et ceux qui pensent que les physiciens terre-à-terre ne font qu'exploiter leurs données bien sagement et publier des connaissances prouvées empiriquement se trompent beaucoup.

En tout cas, le débat actuel sur le multivers rappelle fort au philosophe Reiner Hedrich de l'Université de Dortmund le programme de recherche des Présocratiques : « *une réflexion métaphysique sur la nature* ». La théorie du multivers est raisonnable dans sa logique, estime Hedrich, « *mais pas assez pour être scientifique* ». L'historien des sciences danois Helge Kragh fait également un parallèle. « *Malgré toutes les transformations, la vision moderne du monde a un lien avec les pensées sur l'Univers d'il y a 2 500 ans* » : l'émerveillement face au monde.

Aujourd'hui, les physiciens cherchent pourquoi il existe dans le cosmos bien plus de particules de lumière que d'atomes. Autrefois, l'astronome Eudoxe s'étonnait du mouvement rétrograde de Mars. Des questions très différentes et des manières non moins différentes de chercher les réponses. Mais les questions fondamentales demeurent : l'Univers est-il fini ou infini ? Existe-t-il de la vie ailleurs ? Le monde a-t-il toujours existé ou bien a-t-il un commencement ? L'Univers est-il statique ou se développe-t-il ? Et a-t-il un but ?

En fait, les Grecs anciens avaient déjà songé à presque toutes les idées cosmologiques : l'héliocentrisme (le Soleil au centre), l'espace infini, un commencement au cosmos. Les premiers tenants du multivers étaient également hellènes : au V^e siècle avant J.-C., le présocratique Leucippe et son

élève Démocrite concurent l'atomisme, selon lequel toutes les choses sont constituées des plus petits éléments indivisibles, qui tourbillonnent sans cesse à travers le vide et se retrouvent toujours dans de nouvelles formations : ce sont les atomes (du grec *atomos*, « qui ne peut être divisé »). À partir de là, ils construisirent une cosmologie de mondes multiples, qui ressemble à une première théorie du multivers. Elle aurait été complètement oubliée si l'évêque romain Hippolyte ne l'avait pas transmise au II^e siècle après Jésus-Christ, dans un écrit polémique (*Philosophumena* ou *Réfutation de toutes les hérésies*) contre des blasphémateurs présumés :

[Démocrite] enseigne que les choses se déplacent constamment dans le vide, qu'il existe d'innombrables mondes de tailles différentes ; dans certains mondes, il n'y aurait ni lune ni soleil, dans d'autres, ils auraient une grande circonférence, dans d'autres encore ils seraient multiples. Les distances entre les mondes seraient inégales, tantôt plus grandes, tantôt plus petites ; les mondes seraient en partie en croissance, en partie à leur apogée, en partie en train de disparaître, ici certains se formeraient, là ils disparaîtraient ; un choc les détruirait. Il y aurait des mondes sans êtres vivants, sans plantes et sans la moindre humidité.

Les partisans actuels du multivers n'auraient pas pu mieux le formuler. Les premiers théoriciens des mondes multiples avaient déjà la réputation de provocateurs. Hippolyte pestait contre Démocrite : « *Il riait de tout, comme si tout ce qui était humain était ridicule.* »

Une consolation : l'histoire corrige de telles moqueries. Du point de vue actuel, les Présocratiques étaient visionnaires. Parmi eux se trouvait même un penseur qui ne situait pas la Terre au centre de l'Univers : Philolaos de Crotone y plaçait un « Feu central » distributeur d'énergie, à ne pas confondre avec le Soleil. Le Soleil tournait autour, tout comme la Terre, la Lune, la sphère des étoiles fixes et les planètes alors connues : Mercure, Vénus, Mars, Saturne et Jupiter. Les hommes ne voyaient cependant jamais ce feu central, car ils habitaient le côté de la Terre détourné du centre. Philolaos introduisit une « Anti-Terre », qui se déplaçait de l'autre côté du Feu central comme un reflet et restait également éternellement invisible aux hommes. Il s'agissait bien du premier Univers parallèle de l'histoire, mis à part le siège des Dieux. Pourquoi l'Anti-Terre ? Pour des raisons esthétiques. Philolaos voulait que le nombre des corps célestes mobiles atteigne le chiffre 10.

Enfin, le philosophe, astronome et mathématicien Aristarque, né en 310 avant Jésus-Christ sur l'île grecque de Samos, fut le premier à esquisser un Univers ayant le Soleil pour centre. On l'appelle parfois aujourd'hui le « Copernic de l'Antiquité ». À partir de mesures d'angles, il avait calculé les distances et les diamètres du Soleil et de la Lune. Certes, à cause de quelques erreurs de mesures, ses calculs étaient faux, mais il se rendit compte que le

Soleil était beaucoup plus grand et la Lune plus petite que la Terre. C'est vraisemblablement pour cela qu'il situa le Soleil au centre du cosmos, fit tourner les planètes autour du Soleil et la Lune seule autour de la Terre. Un système solaire d'une exactitude stupéfiante. Près de 2 000 ans avant Copernic, Aristarque avait conçu l'héliocentrisme.

La cosmologie aurait-elle pu s'épargner une odyssée de deux mille ans si elle en était simplement restée aux idées de cette époque ? Non. Il n'y avait alors aucune raison de croire au multivers des atomistes ou au Système solaire d'Aristarque. Les bonnes idées ne suffisent pas, il faut également de bonnes justifications.

Pour les observateurs de l'époque, il était impératif que la Terre repose immobile au centre de l'Univers. Un vent constant ne devrait-il pas souffler si elle tournait sur son axe ? Or on ne sentait pas ce vent. Et, d'après les enseignements d'Aristote, les lourds éléments Eau et Terre ne tendaient-ils pas vers le centre du cosmos ? Comme tous les objets que l'on laisse tomber tombent toujours tout droit vers le sol (même de l'autre côté d'un globe terrestre rond), le globe doit se trouver au centre du monde. Si la Terre tournait autour du Soleil ou d'un Feu central, les étoiles devraient également apparaître, suivant la position de la Terre, sous des angles différents, selon le principe de la parallaxe (incidence de l'observation de l'observateur sur l'objet observé) annuelle. Rien de tout cela n'était visible, du moins pour les Grecs de l'Antiquité. La parallaxe annuelle existe réellement, mais les étoiles sont tellement éloignées qu'elle est infime et invisible sans télescope.

ARISTOTE ORDONNE LE SYSTÈME SOLAIRE

On ne peut donc pas en vouloir à Platon et son élève Aristote d'avoir donné la préférence au géocentrisme et personne ne reprochera à Ptolémée d'avoir trouvé l'idée pythagoricienne d'une Terre mobile « *incroyablement ridicule* ». Au IV^e siècle avant J.-C., Aristote esquissa un Univers qui, complété plus tard par Ptolémée, allait dominer l'astronomie occidentale pendant les deux mille ans suivants.

Au centre du cosmos aristotélicien se trouve le globe terrestre. L'Univers est délimité à l'extérieur par une enveloppe sphérique en rotation sur laquelle sont fixées les étoiles. Les planètes, dont faisaient également partie le Soleil et la Lune, se déplacent dans l'espace entre la Terre et la sphère des étoiles fixes, chacune à un rythme régulier et sur une orbite circulaire. Pourquoi ? Pour des raisons formelles : seul ce mouvement serait adapté à des corps sphériques, pensait Platon. Aristote soutenait que seul le mouvement circulaire pouvait en même temps être infini. Les deux philosophes avaient une si grande influence que leur théorie du mouvement circulaire des planètes fut acceptée sans critique. « *Dans le domaine des sciences, aucune autre idée théorique n'a jamais été tenue pour vraie pendant*

aussi longtemps », explique le philosophe Martin Carrier. Plus tard, même Copernic n'a pas remis en question les orbites circulaires. Ce n'est qu'au XVII^e siècle que Johannes Kepler osa les remplacer par des ellipses.

Platon et Aristote donnèrent du travail aux astronomes pour les deux mille ans suivants : expliquer par des mouvements circulaires les orbites observées des planètes ! Une affaire délicate. Aucun corps céleste ne trace simplement un cercle dans le firmament. Les astronomes ne devaient pas seulement tenir compte de la rotation quotidienne des planètes et des étoiles autour de la Terre, mais également des mouvements annuels des planètes par rapport aux étoiles. Et ils n'étaient ni réguliers ni circulaires.

C'est encore le Soleil qui se comporte le mieux. Vu de la Terre, il se déplace en un an à un rythme régulier à travers les douze signes astrologiques du zodiaque, du Capricorne au début de l'hiver jusqu'à la constellation du Sagittaire fin novembre, en passant par le Cancer en été. Il lui faut environ un mois pour traverser un signe du zodiaque.

En revanche, Vénus, Mercure, Mars, Jupiter et Saturne tanguent littéralement à travers le ciel. Les Babyloniens le savaient dès le XVIII^e siècle avant J.-C. puisqu'ils notaient la position de la Lune, des étoiles et des planètes. Les planètes traversent également le zodiaque, mais parfois vite, parfois lentement, parfois encore en faisant une petite boucle en arrière vers l'ouest. De plus, Mercure et Vénus n'apparaissent qu'à proximité du Soleil, tantôt étoiles du soir à l'est du Soleil, tantôt étoiles du matin à l'ouest.

Aristote expliqua ce désordre par un mécanisme physique selon lequel l'Univers est constitué de 55 enveloppes sphériques ou sphères de cristal transparentes qui tournent autour d'un même point : le centre de la Terre, identique au centre du cosmos. Chacune des sept planètes (la Lune, Mercure, Vénus, le Soleil, Mars, Jupiter et Saturne) est entourée de deux enveloppes et mise en mouvement par celles-ci. De plus, l'enveloppe d'une planète touche à chaque fois l'enveloppe d'une planète voisine. Les étoiles se fixent à l'enveloppe extérieure. L'enveloppe est mise en mouvement grâce à un « premier moteur », un élément spirituel sur la nature duquel Aristote ne dit rien. Le mouvement est transmis vers l'intérieur, d'enveloppe à enveloppe, comme dans un engrenage. La physique céleste antique était prête. Aristote avait relevé les dieux de leur fonction de moteur des astres. Mais il n'était pas si simple de remplacer Zeus et ses collègues. Sur ses 55 sphères, Aristote n'en avait besoin que de 22 pour garantir le mouvement indépendant des sept planètes. Et cela non plus ne suffisait pas à décrire de manière satisfaisante leurs pirouettes. Des observations plus précises du ciel effectuées par les astronomes qui lui succédèrent mirent à jour des divergences. Le secours arriva en la personne de Ptolémée, dernier astronome de l'Antiquité, plus de 500 ans après Aristote. Il compléta le géocentrisme par toutes sortes de mesures provisoires, afin de faire à nouveau coïncider la théorie et l'observation.

La différence entre les Univers d'Aristote et de Ptolémée est similaire à

celle qui existe entre des chaises volantes et un manège Waltzer, manège de foires où des nacelles sont fixées à des disques pivotants, qui tournoient eux-mêmes à la périphérie d'un plus grand disque pivotant. Les passagers filent parfois vite, parfois lentement à travers les airs, car la nacelle vole parfois dans la même direction que le grand disque et parfois dans la direction opposée.

La vision du monde ptoléméenne est un énorme Waltzer. Ptolémée postula des douzaines de cercles principaux et de cercles auxiliaires, appelés épicycles, dont le centre parcourt une grande orbite circulaire. De cette manière, Ptolémée pouvait expliquer de nombreuses observations restées incomprises d'Aristote.

Son système était maladroît. Mais il fonctionnait. Pendant 1 400 ans, les astronomes se sont satisfaits des assemblages de cercles ptoléméens. Depuis Aristote, l'héliocentrisme a ainsi pu s'imposer pendant près de deux mille ans. Deux mille ans ! En comparaison : la vision copernicienne du monde a tout juste 500 ans, la théorie moderne du Big Bang 80, la théorie des mondes multiples de la mécanique quantique 50, le multivers de la théorie des cordes 10. Le géocentrisme est donc pour l'instant le modèle de l'Univers qui a eu le plus de succès. Comment a-t-il pu subsister si longtemps ? Pourquoi a-t-il tout de même fini par s'écrouler ? Les réponses en disent long sur l'avènement et la disparition des visions du monde.

LES ASTRONOMES ÉCRIVENT DES HOROSCOPES

C'est un lieu commun de penser que la vision ptoléméenne du monde a été remplacée parce qu'elle prédisait trop mal les trajectoires des planètes et était devenue trop compliquée à cause de l'ajout de plus en plus de cercles auxiliaires. Copernic aussi avait besoin de nombreux cercles auxiliaires parce qu'il s'obstinait également à croire aux orbites circulaires, bien que les planètes aient en réalité des trajectoires elliptiques. Au XVI^e siècle, le mathématicien de Tübingen Johannes Stoeffler calcula les orbites des planètes grâce au système de Ptolémée. À Paris, le mathématicien Johannes Stadius utilisa le système copernicien pour ses *Ephémérides*, des tables sur le mouvement des astres. L'historien Owen Gingerich a comparé les deux séries de tableaux avec les coordonnées réelles. Résultat : ils correspondaient aussi peu l'un que l'autre aux observations. « *D'après un examen purement pratique, le nouveau système planétaire de Copernic était un échec* », conclut également Thomas Kuhn, « *il n'était ni plus précis ni beaucoup plus simple que son prédécesseur ptoléméen* ». Kepler fut le premier à faire le bon calcul, remplaçant les cercles par des ellipses.

Il n'y eut donc, dans un premier temps, aucune raison théorique pour s'écarter du géocentrisme quand il existait une raison pratique essentielle pour s'y tenir. L'astronomie était alors une science appliquée, considérée

comme la servante de l'astrologie. Grâce aux positions des planètes et des étoiles, les astronomes établissaient des horoscopes. En dépit de toute la mécanique des planètes, beaucoup de gens continuaient à croire à l'influence du ciel sur leur destin. Ptolémée n'a pas seulement écrit l'œuvre de référence de l'astronomie, l'*Almageste*, mais il est également l'auteur du *Tetrabiblos*, la bible des astrologues.

Au début du Moyen-Âge, l'Église rejetait les horoscopes. Mais au début du christianisme et à la fin du Moyen-âge, l'astrologie était tolérée, enseignée à l'Université et appréciée du peuple comme de la noblesse. Comme les chefs de gouvernements se réfèrent aujourd'hui à des conseillers éthiques, les hommes de pouvoir de l'époque consultaient leurs astrologues privés. Avec l'imprimerie, les calendriers présentant des informations astrologiques sont devenus des best-sellers. Ils indiquaient la position de la Lune dans les signes du zodiaque et prédisaient les dates favorables aux saignées. Des villes telles que Nuremberg et Graz possédaient pour cela leurs propres rédacteurs de calendriers, qui avaient ajouté des prévisions annuelles : prédictions sur le temps, les risques de guerre, les catastrophes naturelles et les épidémies. Ceux qui en avaient les moyens consultaient un astrologue pour élucider un vol ou obtenir une aide personnelle pour prendre une décision. De nombreux astrologues prédirent pour l'année 1524 une dangereuse marée haute à cause de la rencontre de Jupiter et de Saturne. La catastrophe naturelle n'eut pas lieu, mais en revanche, une guerre des paysans débuta. Et lorsque les astrologues se trompaient complètement, ils pouvaient toujours rejeter la faute sur une erreur dans le calcul des orbites des planètes.

L'astrologie semble plus logique dans le géocentrisme que dans l'héliocentrisme : si la Terre est au centre, les corps célestes sacrés se détachent nettement des événements terrestres. En revanche, si la Terre n'est qu'une planète parmi d'autres, la distinction entre le ciel et la Terre devient floue. Copernic ne remet donc pas seulement en question la position des corps célestes, mais également le quotidien de ses contemporains.

Les philosophes et historiens ont beaucoup réfléchi aux critères que doit remplir une nouvelle hypothèse ou théorie scientifique pour s'imposer. Elle doit concorder avec les connaissances et les expériences. Elle doit être simple, donc si possible ne pas introduire d'hypothèses *ad hoc*⁶. Elle ne doit pas comporter de contradiction, être si possible Universelle et permettre de faire de nouvelles prédictions. La théorie de Copernic sur le mouvement des planètes remplissait un grand nombre de ces critères. Mais alors pourquoi la révolution copernicienne ne commença-t-elle qu'au XVI^e siècle et non aux XIII^e ou au XIV^e ? « *C'était un siècle du changement* », explique l'historien de la science Owen Gingerich. C'était l'époque de Christophe Colomb, Luther, Léonard de Vinci et Paracelse. « *À maints égards, le monde était prêt pour une vision innovante du cosmos.* »

VÉNUS CONFIRME LA NOUVELLE VISION DU MONDE

Copernic eut la bonne idée au bon moment, mais dans un premier temps, presque personne ne s'en rendit compte. Sa première publication, le *Commentariolus* (« Petit commentaire ») est à peine plus qu'un petit résumé de vingt pages. Quelques copies manuscrites circulèrent à partir de 1510. Ce n'est qu'en 1543, peu avant sa mort, que fut publié son chef-d'œuvre *De revolutionibus orbium coelestium*, un traité aride destiné aux spécialistes, comportant plus de 400 pages de texte et de tableaux, des colonnes sans fin de chiffres sur les positions des étoiles et les orbites planétaires. Le chanoine Copernic avait d'autres soucis que l'Univers, il devait gérer la caisse de la cathédrale, fixer les taxes, réfléchir à la réforme de la monnaie. Il ne travaillait à la plus grande révolution scientifique de l'histoire qu'après sa journée de travail. Copernic esquaissa l'héliocentrisme en sept axiomes⁷ dans le *Commentariolus*.

- 1) Les sphères célestes n'ont pas de centre commun.
- 2) Le centre de la Terre n'est pas le centre du monde, mais seulement celui de la gravité et de l'orbite lunaire.
- 3) Toutes les orbites entourent le Soleil, comme s'il se trouvait au centre de tout. Le centre du monde se trouve donc près du Soleil.
- 4) La distance de la Terre au Soleil est extrêmement petite par rapport à la distance entre la Terre et la voûte céleste.
- 5) La Terre tourne sur son axe une fois par jour ; la voûte céleste ne se déplace pas.
- 6) Ce que nous prenons pour un mouvement du Soleil vient du mouvement de la Terre et de notre enveloppe par lequel nous tournons autour du Soleil.
- 7) Le mouvement des planètes qui semble rétrograde est attribuable au mouvement de la Terre.

Les axiomes 2 et 3 sont le noyau du système planétaire héliocentrique : la Terre est une planète et tourne autour du Soleil comme toutes les autres planètes (à l'exception de la Lune). L'axiome 4 pousse la voûte céleste dans le lointain. Cette hypothèse *ad hoc* était nécessaire parce que l'on devrait sinon observer une parallaxe annuelle : les étoiles devraient apparaître sous des angles différents en fonction des saisons. Copernic ne s'attaqua pas à deux principes importants de la physique aristotélicienne : les planètes sont mises en mouvement par les enveloppes et se déplacent régulièrement sur des orbites circulaires.

La théorie concordait-elle avec les expériences ? Pas particulièrement bien, ce qui poussa Copernic à toujours repousser la publication de *De revolutionibus orbium coelestium* et finalement à douter des données issues des observations des Grecs de l'Antiquité. De plus, la théorie nécessitait l'hypothèse spéculative d'une voûte céleste très éloignée. Mais elle proposait toutefois de nouvelles prédictions : dans un système héliocentrique, Vénus, comme la Lune, devait avoir des phases différentes, selon sa place par

rapport au Soleil, elle devait apparaître tantôt en forme de croissant, tantôt pleine. Toutefois, cette prédiction ne pouvait être vérifiée sans les télescopes, qui n'existaient pas encore à l'époque.

La Commission pontificale pour la réforme du calendrier demanda son avis à Copernic en 1514. En 1533, le Pape Clément VII se fit expliquer par un secrétaire « *la théorie copernicienne sur le mouvement de la Terre* ». En 1536, le cardinal Nikolaus von Schönberg encouragea même Copernic à publier ses idées. Les exercices de calcul destinés à mieux décrire les phénomènes célestes n'étaient aucunement tabous à l'époque tant qu'ils restaient de purs calculs. En effet, les théologiens, même les nouveaux protestants, étaient alors des réalistes fidèles à la Bible. Or la Terre immobile est décrite sans équivoque dans l'Ancien et le Nouveau Testament : « *Une génération s'en va, une autre vient, mais la terre subsiste toujours. Le soleil se lève, le soleil se couche ; il se hâte vers son lieu pour se lever encore* » (L'Ecclésiaste 1 : 4-5). Ou bien : « *Le soleil s'arrêta au milieu du ciel et ne se hâta pas de se coucher pendant presque un jour entier* » (Josué 10 : 12-13). Et dans le psaume 93 : « *Le Seigneur règne, il s'est revêtu de majesté [...] La terre qu'il a fermement établie ne sera pas ébranlée* ».

La vision copernicienne du monde avait donc un problème. Elle contredisait la Bible. Cela aurait été à l'époque une raison suffisante pour l'oublier immédiatement si elle n'avait pas possédé un avantage décisif : la beauté et l'élégance. Elle expliquait de manière toute naturelle pourquoi Vénus et Mercure étaient toujours visibles à proximité du Soleil : parce que c'étaient les deux planètes les plus proches du Soleil à tourner autour de lui. Ptolémée avait dû pour cela affirmer que le cercle auxiliaire de Mercure et de Vénus passait pour des raisons inexplicables autour de la Terre au même rythme que le Soleil. L'explication du mouvement rétrograde de Mars était également évidente chez Copernic : la Terre dépassait Mars sur son orbite.

Lorsque l'Église vit vaciller sa vision du monde, elle riposta avec force. En 1616, l'Inquisition mit le système copernicien à l'index. Après le procès de Galilée en 1633, il était considéré partout comme absolument tabou. Galilée mourut en résidence surveillée et fut enterré le 8 janvier 1642 sans grande cérémonie. Mais la nouvelle vision du monde s'imposait lentement et irrémédiablement, malgré toutes les résistances.

Aujourd'hui, il ne reste plus grand-chose de la vision du monde copernicienne, à part le Système solaire et le « principe de Copernic » de la cosmologie selon lequel l'homme n'est pas privilégié dans l'Univers, il se trouve dans un lieu typique moyen de l'Univers infini. Ce n'est certainement pas ainsi que se l'était formulé Copernic, ce brave ecclésiastique, qui aurait sans doute préféré que son nom reste en dehors de ça.

1. Sigmund Freud, *Introduction à la psychanalyse* (toutes les notes sont de l'éditeur).

2. Friedrich Nietzsche, *Ecce Homo*.

3. *Le hasard et la nécessité. Essai sur la philosophie naturelle de la biologie moderne*, Seuil, Points Essais, 1973.
4. Théorie envisagée pour concilier la mécanique quantique et la théorie de la relativité générale.
5. *Les Présocratiques*, Gallimard, Bibliothèque de la Pléiade, 1988.
6. Une hypothèse *ad hoc* est une hypothèse que l'on ajoute à une théorie pour tenter d'expliquer des faits qui paraissent la réfuter. Elle est invérifiable, et donc à manier avec prudence et parcimonie.
7. Un axiome est une proposition acceptée comme vraie sans démonstration.

3

L'Univers devient infini

*Le Système solaire et l'homme avec lui se trouvent loin du centre de la Voie lactée.
L'idée me plaît que l'homme ne soit pas un si gros poisson. Il est fortuit.*

Harlow Shapley, astrophysicien,
Through Rugged Ways to the Stars, 1969

En avril 1920, Harlow Shapley partit au combat dans un wagon de première classe de Los Angeles à Washington D.C., avec dans sa valise une boîte pour collecter les fourmis ainsi que 19 pages manuscrites, couvertes de notes au crayon. L'Académie nationale des Sciences l'avait invité à une joute oratoire publique suivie d'un banquet. Le thème : la taille de l'Univers.

Albert Einstein était présent ainsi que des personnalités scientifiques de la capitale et des astronomes influents d'Harvard. L'adversaire de Shapley : Heber Curtis, un astronome de 47 ans de l'observatoire Lick en Californie. Curtis affirmait qu'en dehors de notre galaxie, la Voie lactée, il existait d'autres galaxies semblables aux nôtres. Shapley soutenait au contraire que l'Univers se résumait à la Voie lactée, mais que celle-ci était dix fois plus grande que ce que l'on pensait jusqu'alors.

Pour Shapley, l'enjeu était de taille. Il était l'outsider : âgé de seulement 34 ans, fils d'un éleveur de bovins, il avait grandi dans la campagne du Missouri. À 16 ans, en tant que reporter judiciaire pour le journal local *Daily Sun* de Chanute, Kansas, il rédigeait des articles sur des échanges de coups de feu entre des ouvriers pétroliers ivres. Le jeune Shapley voulait étudier le journalisme, mais son cours à l'Université fut repoussé. Il parcourut à nouveau le programme des cours proposés qui commençait par de l'archéologie. Il se souvint plus tard avoir pensé : « *Je serais incapable de prononcer ce mot* ». La discipline suivante était l'astronomie. C'est ainsi que Shapley se tourna vers les étoiles.

Harlow Shapley, raie de côté et bouche marquée, était un type ambitieux, quelqu'un qui se débrouillait dans la vie. Un collègue disait de lui : « *Je ne connaissais personne d'aussi intelligent et doué d'autant de répondant que lui, tout en étant dénué de toute modestie.* » À un autre, il rappelait le conte sur le pêcheur dont tous les vœux sont exaucés par un poisson magique et dont la

femme mégalomane demande finalement à devenir pape.

La confrontation du 26 avril 1920 allait également influencer la suite de la carrière de Shapley. Il voulait devenir directeur de l'observatoire de l'Université de Harvard et ne pouvait donc pas se permettre une humiliation. Mais son adversaire, Curtis, était un bon orateur, avait enseigné le latin et le grec, c'était un scientifique aux manières parfaites. Curtis parlerait librement, Shapley avait noté chaque virgule. Chacun disposerait de 40 minutes pour faire son exposé et le débat aurait lieu ensuite. C'est ce qui avait été convenu quand Shapley monta dans le train à Los Angeles.

Heber Curtis fit également le voyage depuis la Californie jusqu'à Washington. Dans le même train. Les deux adversaires se retrouvèrent face à face, il leur restait plus de 4 000 kilomètres de voyage à faire ensemble. Ils se mirent à discuter des langues classiques, des fleurs, de la passion de Shapley pour les fourmis. Mais pas des étoiles. « *C'était agréable* », écrivit Shapley dans son autobiographie, « *mais nous évitâmes volontairement le sujet controversé : le Grand Débat* ».

Car c'est sous le nom de « Grand Débat » que la joute du 26 avril 1920 entrerait dans les livres d'histoire. Ce soir-là, la querelle sur la taille de l'Univers et la position qu'y occupe l'homme atteignit son paroxysme. Il s'agissait encore une fois des ultimes questions : L'Univers est-il infini ? Où se trouvent les étoiles ? Existe-t-il encore quelque chose après les étoiles ? Et la question fondamentale : l'homme comprendra-t-il un jour l'Univers ?

KANT S'ÉTONNE DES NÉBULEUSES

Le Grand Débat concentra sur trois heures 300 ans de cosmologie depuis le tournant copernicien. En 1920, la cosmologie était à l'orée d'un changement de paradigme. Jusqu'alors, les savants pensaient que la Voie lactée, notre galaxie, constituait l'ensemble du cosmos. Mais tout à coup, les choses semblaient différentes : l'Univers paraissait infini, et la Voie lactée une petite miette. La vision cosmocentrique du monde remplaçait la vision galactocentrique. L'amélioration des télescopes joua un rôle important pour passer du monde dont on avait une vue d'ensemble à un Univers infini. Ils permirent de sonder les limites de l'espace. Enfin, quelques questions vieilles de plusieurs siècles sur l'Univers pouvaient être expliquées d'une manière toute naturelle : par une simple vérification.

L'une des plus grandes énigmes, mais également la clé nécessaire pour comprendre l'Univers, apparut à l'époque sous la forme de quelques phénomènes mystérieux dans le ciel nocturne : des taches nébuleuses et

elliptiques. En 1716, le scientifique britannique Edmond Halley avait décrit six de ces nébuleuses, dont l'une dans la constellation d'Andromède. De quoi pouvait-il s'agir ? De la lumière pure, pensait Halley, une preuve pour l'histoire biblique que la lumière est née avant le Soleil. L'astronome français Pierre-Louis de Maupertuis croyait en revanche à de colossaux corps célestes, que leur rotation aurait aplati. Son compatriote Pierre-Simon Laplace misait sur des nuages de poussière géants dont naissait une étoile.

Faux, pensait Emmanuel Kant, qui passa ses jeunes années à étudier en détail la structure de l'Univers. Dans *Histoire générale de la nature et Théorie du ciel*, le philosophe de 31 ans écrivait : « *Je veux parler de cette espèce d'astres nébuleux, dont Maupertuis fait mention dans son Mémoire sur la figure des astres [...]. Je m'assurais aisément que ces astres ne pouvaient être autre chose que des amas de nombreuses étoiles*¹. » Si Kant avait assisté au Grand Débat, il aurait été du côté de Curtis : comme lui, il supposait déjà l'existence de lointains Univers-îles dans les profondeurs de l'Univers. Et il s'avérera qu'il avait raison. Ce que Halley avait vu, c'étaient d'autres galaxies. Toutefois, Kant, né en 1724, aurait dû atteindre l'âge de 200 ans pour voir sa théorie confirmée. Il fallut pour cela les meilleurs et les plus puissants télescopes jamais construits.

En 1845, l'astronome irlandais William Parsons *alias* lord Rosse mit en service sur son domaine un télescope qui demeurerait pour le reste du siècle le plus grand du monde. Des ingénieurs avaient moulé pour cela un miroir de trois tonnes d'un diamètre de 1,8 m. Le tube du télescope mesurait 16,5 m de long, son support était aussi haut qu'un immeuble de quatre étages. Le monstre était surnommé le « Léviathan de Parsonstown ». Le centre de l'Irlande n'offrait pas vraiment les conditions idéales pour un astronome : bruine, pluie, brume. Le lord prenait cela avec stoïcisme. « *Le temps ici est encore contrariant, mais pas complètement affreux* », écrivit-il un jour à sa femme. Les nuits où il pouvait regarder à travers les nuages, il fit quelques-unes des observations les plus spectaculaires de l'époque. Parsons put ainsi observer une nébuleuse mystérieuse dans le ciel nocturne avec une résolution sans précédent. Elle était en forme de spirale avec un petit tourbillon au bout d'un bras. Le lord en fit un dessin qui aurait inspiré Vincent Van Gogh, sa *Nuit étoilée* a immortalisé un phénomène semblable.

La nébuleuse est « toute piquetée d'étoiles », remarqua lord Rosse, c'est également le cas pour d'autres nébuleuses qu'il observait. Les débuts de l'astronomie au télescope semblaient donner raison à Kant à titre posthume, mais la thèse des Univers-îles était encore loin d'être prouvée. Pour cela, les chercheurs devaient d'abord mesurer la distance à laquelle se trouvaient les nébuleuses étoilées. Étaient-elles à l'intérieur de notre galaxie, la Voie lactée, ou à l'extérieur ? Il fallait un mètre fiable pour mesurer l'Univers. Les astronomes se mirent à chercher des étoiles dont on pouvait estimer la distance.

DES ÉTOILES SCINTILLANTES SERVENT DE MÈTRE POUR L'UNIVERS

On pourrait penser que plus une étoile est éloignée de la Terre, plus elle brille faiblement dans le ciel. À partir de sa luminosité apparente, on devrait donc pouvoir déduire la distance à laquelle se trouve l'étoile. Mais la luminosité de l'étoile dépend également de sa taille, de sa température et de sa composition chimique. Lorsque des astronomes veulent calculer la distance d'une étoile à partir de sa luminosité apparente, ils doivent donc également savoir quelle quantité de lumière elle répand réellement : ils doivent connaître sa luminosité absolue. Mais pour cela, ils doivent connaître sa distance : c'est un raisonnement circulaire. L'astronome Henrietta Leavitt de l'observatoire de l'Université de Harvard rompit le cercle. Elle découvrit un type d'étoile dont on pouvait calculer la distance. Elle avait découvert le mètre cosmique.

L'observatoire de l'Université de Harvard à Cambridge, Massachusetts, disposait de la technique la plus récente dans le domaine de l'astronomie : les plaques photographiques. Au lieu d'évaluer la luminosité à l'œil nu, on pouvait superposer des plaques photographiques exposées et comparer directement les positions et les luminosités des étoiles. Henrietta Leavitt, fille de pasteur née en 1868, fit preuve d'une belle persévérance dans ses recherches. Elle consacra une grande attention à une classe mystérieuse d'étoiles, dont la luminosité changeait dans un intervalle de quelques jours : les céphéides, nommées d'après l'étoile Delta Cephei, sur laquelle on a observé pour la première fois le phénomène de scintillation. Les céphéides sont des étoiles géantes, on le sait aujourd'hui, dont l'atmosphère pulse grâce à une interaction entre la gravitation et les forces de pressions, qui modifient la température du plasma stellaire. En étudiant 25 céphéides dans le Petit Nuage de Magellan, une galaxie voisine de la Voie lactée, Leavitt fit une découverte lourde de conséquences : plus les étoiles scintillaient rapidement, plus elles brillaient faiblement. C'était comme si elle avait découvert la puissance en watts d'ampoules éloignées. Ainsi, il suffisait de mesurer la distance d'une de ces céphéides pour obtenir une relation générale liant leur période et leur luminosité absolue.

Maintenant, les astronomes pouvaient étudier les étoiles scintillantes d'autres galaxies. Grâce à la découverte de Leavitt, ils pouvaient calculer la distance relative entre deux céphéides à partir de la fréquence de scintillation. Il ne leur restait plus qu'à calibrer le mètre cosmique, pour pouvoir également évaluer la distance absolue en années-lumière ou en kilomètres. Harlow Shapley y parvint. Il étudia onze céphéides dans la Voie lactée, qui se déplaçaient légèrement à des saisons différentes et calcula d'après cela la distance absolue des céphéides à la Terre. En 1918, il associa ces données aux mesures d'Henrietta Leavitt : le mètre cosmique était prêt.

Shapley se mit alors à examiner le ciel à la recherche d'autres céphéides, pour obtenir une image en trois dimensions de la Voie lactée et déterminer l'étendue du monde. Un projet audacieux au résultat spectaculaire : l'Univers de Shapley fit éclater toutes les dimensions qu'on avait pu se représenter jusque-là. La Voie lactée avait, selon ses calculs, la forme d'un disque gigantesque de 300 000 années-lumière de diamètre et de 30 000 années-lumière d'épaisseur. Le Soleil se trouvait à 65 000 années-lumière du centre de ce disque. « *Ce fut un choc* », écrivit plus tard l'athée Shapley, « *un nouveau positionnement de l'homme dans l'Univers.* » Il fut heureux de découvrir « *que l'homme n'est pas un si gros poulet* ». Il pensait également avoir résolu l'énigme des Univers-îles : les nébuleuses se trouveraient à une distance maximale de 220 000 années-lumière et donc à l'intérieur de la Voie lactée. La Voie lactée est l'Univers.

VICTOIRE DE L'INFINI

Ses avis énergiques rencontrèrent des résistances. Les mesures des onze céphéides seraient trop incertaines pour construire l'Univers à partir de là, critiquèrent les astronomes. « *Entièrement faux* », commenta Heber Curtis de l'observatoire Lick concurrent. Curtis et ses collaborateurs croyaient à une Voie lactée beaucoup plus petite, de 30 000 années-lumière de diamètre et de 5 000 années-lumière d'épaisseur et pensaient que les nébuleuses étaient des Univers-îles, des galaxies comme les nôtres, distantes de dix millions d'années-lumière et plus. Grande ou petite Voie lactée ? Les positions étaient fixées. Il était temps de discuter une bonne fois pour toutes de l'étendue de l'Univers.

Le soir du 26 avril 1920 traîna en longueur. Trois cents invités étaient venus au banquet, principalement des scientifiques et leurs épouses, des hommes politiques, des chercheurs-fonctionnaires. Avant les exposés de Shapley et Curtis, l'Académie nationale des Sciences distribua quelques prix. Le prince de Monaco en reçut un pour son étude de l'océan, un employé de l'ambassade néerlandaise accepta une médaille au nom du physicien Pieter Zeeman, un fonctionnaire gouvernemental fut honoré pour l'enraiment du fléau de l'ankylostome. Les discours officiels se succédèrent, plus interminables les uns que les autres. Einstein griffonna une note sur un papier qu'il glissa au Néerlandais : « *Je viens de découvrir une nouvelle théorie de l'éternité.* »

Puis ce fut au tour de Shapley. Il avait 40 minutes de temps de parole. Il lut son manuscrit et fit un exposé sur les mesures de l'immense étendue de la Voie lactée. Applaudissements polis. Puis Heber Curtis, prit la parole, pour 40 minutes également. Il montra des diapositives sur ses thèses principales concernant les Univers-îles éloignés et parla sans notes. « *Il articulait bien et n'avait pas peur* », se souviendra Shapley plus tard. Curtis attaqua le mètre

cosmique de Shapley. Shapley remet en question quelques données de Curtis. Curtis riposta : « *Certaines observations sont sans valeur, d'autres sont également sans valeur. Mais deux observations sans valeur ne valent pas mieux qu'une.* » Rires. Jusqu'au bout, Curtis fit meilleure figure.

Un mois plus tard, il écrivit à sa famille : « *Le débat s'est bien passé à Washington. On m'a assuré que j'avais passé la ligne d'arrivée avec un peu d'avance.* » Le mentor de Shapley, Henry Russell, pensait que ce dernier devait absolument peaufiner sa rhétorique. Toutefois, la défaite de Shapley ne fut pas si terrible, puisqu'il fut nommé au poste de directeur de l'Observatoire de l'Université de Harvard, après que le candidat choisi eut refusé le poste.

Curtis avait peut-être convaincu par sa rhétorique, mais pour les astronomes, le débat se solda par un match nul. On le sait aujourd'hui : les scientifiques avaient tous deux raison et tort. Harlow Shapley avait raison de penser que la Voie lactée s'étendait beaucoup plus loin que ce qu'on supposait communément. Son estimation était cependant trois fois supérieure à la réalité (la Voie lactée a un diamètre de 100 000 années-lumière, pas de 300 000) parce qu'il avait négligé l'absorption de la lumière des étoiles par la poussière intergalactique. Il se trompait en ce qui concerne la nébuleuse cosmique, qu'il plaçait à l'intérieur de la Voie lactée. Heber Curtis quant à lui avait supposé la Voie lactée trop petite, mais avait raison de penser qu'elle n'était qu'une galaxie parmi de nombreuses autres dans un Univers gigantesque et qu'il existait à l'extérieur de nombreux Univers-îles ou galaxies. Mais pour cette constatation, les mesures de 1920 n'étaient pas encore assez précises.

Quatre ans après le Grand Débat, l'astronome Edwin Hubble de l'observatoire du Mont Wilson trouva la preuve décisive de l'existence des galaxies éloignées. Avec un nouveau télescope, il découvrit dans la nébuleuse d'Andromède une céphéide et calcula la distance qui la séparait de la Terre. La nébuleuse en était éloignée de 900 000 années-lumière, bien au-delà de la Voie lactée. Aucun doute, il s'agissait bien d'une galaxie éloignée, située hors de la nôtre.

Hubble écrivit une lettre à Shapley lui annonçant ses nouveaux résultats. Lorsque Shapley lut la lettre, un collaborateur se trouvait dans son bureau. Shapley leva les yeux et lui dit : « *Voici la lettre qui a détruit mon Univers.* »

4

Le multivers pour les débutants

Cléopâtre

Si c'est de l'amour, dites-moi, quel degré d'amour ?

Antoine

C'est un amour bien pauvre, celui que l'on peut calculer.

Cléopâtre

Je veux établir, par une limite, jusqu'à quel point je puis être aimée.

Antoine

Alors il te faudra découvrir un nouveau ciel et une nouvelle terre.

William Shakespeare, *Antoine et Cléopâtre*, 1607¹

Venise, le 23 mai 1592 : une gondole de l'Inquisition catholique amène un moine dominicain au couvent San Domenico di Castello. L'accueil est glacial. Le frère Giordano Bruno n'apprécie guère l'hospitalité de sa congrégation dont il est le prisonnier. Il atterrit au cachot, parqué avec des femmes accusées de sorcellerie, des fous et des débauchés. Il fait une impression durable sur les autres détenus : *« Il disait que Dieu avait autant besoin du monde que le monde avait besoin de Dieu et que Dieu sans le monde ne serait rien et que c'est pourquoi Dieu ne cessait de créer de nouveaux mondes »*, se souvient plus tard l'un d'eux.

Bruno n'avait pas été arrêté pour avoir enfreint une loi divine. Il n'avait rien fait d'autre toute sa vie que de lire et écrire. Mais il avait osé remettre en question l'infaillibilité de l'Église. Il avait douté de la transformation du pain en le corps du Christ pendant la communion. Et il avait eu l'impertinence de se moquer de la théorie aristotélicienne d'un cosmos fini et géocentrique qu'il traita de *« puérile »* et d'y opposer un cosmos infini. Ce n'est pas le besoin de comprendre qui poussait Bruno. Il voulait provoquer l'Église. Il réussit.

Pendant huit ans, Bruno se dispute avec les juges de l'Inquisition. Parfois, il se rétracte, puis provoque à nouveau. Le dialecte grossier de l'Italie du Sud de ce fils de mercenaire né à Nola, au pied du Vésuve, agace les Excellences vénitiennes qui le livrent bientôt à Rome. Le 17 février 1600, l'histoire de Rome mentionne qu'il *« est mené par des employés du tribunal sur le Campo de' Fiori, où il est déshabillé, toujours accompagné du chant des litanies et des directeurs de conscience qui l'exhortèrent jusqu'au bout à renoncer à l'entêtement »*.

dans lequel il finissait sa misérable et malheureuse vie ». Bruno brûle sur le bûcher. Il aurait dit à ses juges : « *Vous avez bien plus de crainte en rendant votre jugement que je n'en ai en l'acceptant.* »

L'Inquisition l'avait proclamé avec une violence brutale : le cosmos est fini. Et il le resta jusqu'au XX^e siècle, même si, au cours des siècles, les savants agrandirent toujours un peu plus l'Univers : d'un diamètre de quelques milliers de kilomètres avant Copernic et Bruno jusqu'à quelques milliers d'années-lumière lorsque l'astronome allemand Friedrich Bessel mesura au XIX^e siècle la distance des étoiles. C'était immense, mais on pouvait encore en garder une vue d'ensemble. Puis, en 1920, ce fut le Grand Débat. Les cosmologistes durent se résigner à ce que leur terrain de recherche outrepassa toute référence. Il n'y avait absolument plus aucune limite en vue. L'hérétique de Nola avait raison !

LA PEUR DU NÉANT

La « crainte » que Giordano Bruno avait attribuée à ses juges prenait son origine dans l'*horrorinfiniti* : la peur de l'infini. La représentation de quelque chose qui dépasse toute mesure a toujours été inquiétante pour l'homme. « *La simple pensée de se retrouver à errer dans cet Univers incommensurable* », reconnaissait Johannes Kepler, qui était profondément religieux, lui donnait « *un sombre frisson* ». Pour lui, seule la grandeur divine était infinie, mais pas le nombre des étoiles et certainement pas l'espace vide. Au XVII^e siècle, le philosophe français Blaise Pascal le reconnut : « *Le silence éternel de ces espaces infinis m'effraie.* » Et en 1948, le philosophe juif Martin Buber eut des pensées suicidaires lorsqu'il tenta de se représenter « *le bord de l'espace ou son absence de bord* ».

Les deux étaient aussi impossibles, aussi dénués d'espoir, et pourtant seul le choix entre l'une ou l'autre absurdité semblait possible. Sous une contrainte irrésistible, je titubais de l'une à l'autre, menacé de temps à autre de si près par le danger de devenir fou, que je caressai sérieusement la pensée d'y échapper en me suicidant à temps².

Au XIX^e siècle, l'infini rendit vraiment fou le mathématicien Georg Cantor. La réflexion sur l'inconcevable grandeur et la querelle qui s'ensuivit avec ses collègues le firent sombrer dans la dépression et la folie paranoïaque. Toutefois, il ne souffrit pas en vain. Après que les mathématiciens eurent lutté de nombreux siècles avec l'infini, Cantor put enfin le maîtriser. Il introduisit avec la théorie des ensembles des concepts radicalement nouveaux, et notamment l'idée qu'il existe plusieurs types d'infini que l'on peut mesurer et comparer au moyen de nouveaux nombres (ordinaux et cardinaux). Il existe donc toute une série d'infinis toujours plus grands. Depuis Cantor, les mathématiciens maîtrisent l'infini. Alors se posa la question : l'infini existe-t-il également dans le monde physique ou n'est-il qu'une construction mentale ?

Martin Buber, qui put défendre sa santé mentale contre l'infini, résuma le dilemme devant lequel se trouvent les cosmologistes depuis l'origine de leur discipline : un espace infini est inconcevable, mais la fin de l'espace l'est tout autant. Aristote était persuadé qu'un espace infini était absurde et donc impossible. Il entoura son cosmos d'une enveloppe extérieure où le monde s'arrêtait simplement. Giordano Bruno se moqua ouvertement de cette idée dans son ouvrage *De l'infinito Universo et Mondi* (De l'Univers infini et des mondes) :

Mais, mon bon Aristote, qu'entends-tu par là en disant qu'un espace serait en soi-même ? Que veux-tu supposer en dehors du monde ? Dis-tu : là-bas, il n'y a rien, alors le ciel et le monde se trouvent dans le néant, c'est-à-dire nulle part ?

Galilée avait des doutes semblables sur la théorie aristotélicienne dominante, mais les exprimait plus prudemment. En 1640, il écrivit une lettre au scientifique Liceti sur le fini et l'infini du monde :

De nombreuses et bonnes raisons ont été avancées pour chacun de ces avis, mais d'après moi aucune ne mène à une conclusion impérative, si bien que je continue à me demander laquelle des deux réponses est la bonne. Je ne possède qu'un argument ferme, qui me fait pencher plus vers [le monde] infini et illimité que vers [le monde] limité (tiens compte du fait que mon imagination ne m'est ici d'aucune aide, car je ne peux me le représenter ni fini ni infini) : je sens que mon incapacité à comprendre vient plus probablement de l'infini insaisissable que du fini, pour lequel aucun principe de l'incompréhensible n'est nécessaire. Mais c'est l'une des questions qui est heureusement inexplicable pour la raison humaine...

En d'autres termes : je n'en sais rien et ça ne peut provenir que de l'infini puisque devant lui la raison capitule. Avec son observation des lunes de Jupiter, Galilée avait montré à ses collègues que le monde entier ne tournait pas autour de la Terre. Il convainquit ainsi un grand nombre d'entre eux que le cosmos était plus qu'un jardinier de notre planète natale.

Il fit même réfléchir le phobique de l'infini, Johannes Kepler, qui avoua à Galilée en 1610 : « Si tu avais également trouvé des planètes qui tournent autour d'une étoile fixe, alors cela aurait signifié pour moi un exil dans l'Univers infini de Bruno. » Kepler ne devait pas vivre cette découverte, mais à la fin du XX^e siècle, les astronomes découvrirent en effet des centaines de planètes en dehors du Système solaire, qu'on appelle exoplanètes, qui tournent autour d'étoiles lointaines.

Isaac Newton s'attaqua également au dilemme du cosmos fini et infini. Il tenta de réunir les deux en une vision du monde. D'un côté, il était sous le charme du dogme aristotélicien du fini. De l'autre, il croyait à un espace infini, qui existait indépendamment des choses, une sorte de récipient vide, dans lequel Dieu aurait mis les étoiles. Cet espace devait logiquement être infini, argumentait-il, car on ne pouvait se représenter aucune limite de l'espace, sans en même temps penser à un autre espace derrière. Parce que nous nous représentons notre monde comme fini, il devrait exister « des espaces au-delà du monde ». Notre Univers (Terre, Soleil, Lune et étoiles) est une île dans un océan de mondes infini.

Mais ensuite, sa propre grande découverte se mit en travers de son chemin : la gravité. Elle fit littéralement s'écrouler son Univers-île. En effet, si les étoiles n'étaient dispersées que sur un espace limité, écrivit Newton au théologien Richard Bentley, « alors la matière sur la face externe de cet espace serait attirée par sa gravité vers l'ensemble de la matière à l'intérieur, tomberait au milieu de l'ensemble de l'espace et formerait là une grande masse sphérique ». Toutes les étoiles foncraient donc à travers l'espace vers leur centre de gravité commun et à la fin, une seule boule de matière planerait dans l'espace vide. Mais, puisque les étoiles restent visiblement fixées à leur position dans le ciel, poursuivit Newton, elles doivent bien être réparties sur l'ensemble de l'espace infini.

Le Grand Débat de 1920 confirma la logique de Newton et réveilla l'horror infiniti. Il laissa les cosmologistes avec un sentiment d'isolement, comme des enfants habitués au jardin familial soudain seuls dans le désert. Aucun appui, aucun point de repère, nulle part. Personne ne sait combien il existe d'étoiles. Peut-être une infinité ?

L'UNIVERS RETROUVE UNE LIMITE

Un Univers infiniment grand : cela ne crée pas seulement une sensation étrange, c'est également contraire à la pensée empirique. Les scientifiques veulent savoir de quoi ils parlent. Ils veulent compter les étoiles, les atomes et les galaxies. Ils veulent peser et mesurer l'Univers. C'est pourquoi les cosmologistes modernes ont rendu l'Univers à nouveau chiffrable, par définition. « Univers » est pour eux synonyme d'« Univers visible ». Il est aussi grand que porte le regard, même un regard artificiel comme celui de nos télescopes. La limite de l'Univers est l'horizon visible.

C'est comme si les cosmologistes étaient rassemblés sur une dune moyenne du Sahara et décidaient après une observation détaillée et approfondie que le monde est tout ce qui est visible. Une affirmation assez arbitraire, semble-t-il. Car l'horizon se profile certes comme une ligne contre le ciel, mais vu de la dune suivante, il serait déjà un peu décalé. Dans l'Univers, cette définition n'est cependant pas aussi arbitraire que dans le désert. Nous ne pouvons pas facilement changer nos postes d'observation cosmique et une caravane ne peut pas apparaître soudain au bord de l'Univers.

Lorsque vous indiquez de nuit une constellation dans le ciel, le prolongement imaginaire de votre doigt mène hors de l'atmosphère terrestre à travers le Système solaire, puis à travers notre galaxie, de là à travers l'espace vide vers d'autres galaxies, des millions et des milliards d'entre elles. Et il fait un retour dans le temps. Car plus un corps céleste est éloigné, plus sa lumière met de temps à nous parvenir. Pour que nous puissions voir un corps céleste, la lumière doit parvenir jusqu'à nous et cela prend du temps : huit minutes pour les 150 millions de kilomètres du Soleil à la Terre,

2,5 millions d'années de notre proche voisine, la galaxie d'Andromède. Là où le ciel est sombre, des étoiles sont peut-être également nées entre-temps, mais leur lumière est encore en chemin pour venir jusqu'à nous à une vitesse de près de 300 000 kilomètres par seconde, la vitesse limite de la nature. Et là où nous apercevons la lumière d'une étoile, elle est peut-être déjà éteinte depuis longtemps. Un regard dans la profondeur de l'Univers est donc toujours un regard dans le passé, et ce passé est fini : l'Univers est âgé de 13,7 milliards d'années. Nous ne pouvons voir que des objets dont la lumière met moins de 13,7 milliards d'années à nous atteindre.

Il semblerait donc qu'on peut en déduire que l'Univers observable comprend tout dans un rayon de 13,7 milliards d'années-lumière. Mais en réalité, il comprend bien plus. Entre nous et les objets les plus éloignés, il y a environ 45 milliards d'années-lumière. Ce n'est pas une contradiction puisque l'Univers se dilate. Alors que la lumière de ces corps éloignés était en chemin vers nous, ils se sont encore éloignés. Nous avons une image d'eux qui date de milliards d'années. Leur apparence actuelle ne sera visible sur Terre que dans 45 milliards d'années, si la Terre existe encore.

Notre vue sur l'Univers est limitée comme la vue dans le désert. *« Nous avons l'impression de regarder dans l'infini »,* dit l'astrophysicien Günther Hasinger de l'institut Max-Planck de physique des plasmas de Garching, *« mais nous savons avec exactitude que nous ne regardons qu'à environ dix kilomètres et que derrière l'horizon, il y a encore mille fois plus d'horizon. »*

De ce point de vue, l'Univers est une immense boule d'espace d'un rayon de 465 milliards d'années-lumière, dans laquelle se perdent des centaines de milliards de galaxies et leurs centaines de milliards d'étoiles chacune. Tout est assemblé à partir d'environ 10^{78} atomes et traversé par 10^{88} particules de lumière. Cette définition est déjà un peu étrange. Lorsqu'on y regarde de plus près, les cosmologistes, avec leur idée de l'« Univers », ont annulé la révolution copernicienne ! Car au centre de la boule d'espace se trouve la Terre, sur laquelle nous nous trouvons, observons l'Univers et calculons ses lois. L'humanité retourne à l'endroit d'où l'avait chassée Copernic : au centre de l'Univers (visible). Mais cette fois, ce n'est pas un décret divin, mais une convention sensée sur laquelle les scientifiques se sont mis d'accord. Une question reste toutefois en suspens : qu'y a-t-il derrière l'horizon ? Certains trouvent présomptueux de théoriser sur quelque chose que nous ne pouvons pas voir. D'autres trouvent encore plus présomptueux de dire que quelque chose n'existe pas juste parce que nous ne pouvons pas le voir.

Bien sûr, les cosmologistes font tout pour pouvoir tout de même épier derrière l'horizon. En 2008, des chercheurs de la NASA annoncèrent avoir observé quelque chose de grand qui tirait les galaxies de notre Univers : Alexander Kashlinsky et ses collègues constatèrent que des centaines d'amas galactiques entre les constellations du Centaure et des Voiles dans l'hémisphère Sud volaient ensemble et non dans un désordre effréné dans une même direction, et ceci à une vitesse d'au moins 600 kilomètres par

seconde. Pendant un an, les chercheurs vérifièrent leurs données. La dérive des galaxies, appelée « *Dark Flow* » (courant sombre), s'étend profondément dans l'Univers observable, selon la supposition de Kashlinsky, peut-être même jusqu'au-delà de l'horizon. « *La répartition des masses dans notre Univers ne peut pas expliquer ce mouvement* », dit-il. Alors quoi ? Cela pourrait être une immense accumulation des masses au-delà de l'Univers observable. Certains collègues de Kashlinsky sont persuadés qu'un Univers voisin entier tire les galaxies vers lui. D'autres, qui ne veulent pas croire à un monde parallèle, continuent à chercher des explications à l'intérieur de notre Univers.

Lorsque les cosmologistes d'aujourd'hui parlent de l'Univers, ils trahissent de légers symptômes de schizophrénie. D'une part, ce sont des scientifiques et, tant que tels, ils veulent tout maîtriser. Il convient à leur mentalité de définir l'Univers comme l'ensemble de tout ce que nous pouvons voir. Ce qui n'est pas observable est irréel selon leur point de vue et n'appartient donc pas à l'Univers. Du moins pas au nôtre.

D'autre part, ils sont curieux, du fait de leur métier. Même si l'Univers observable s'arrête à l'horizon cosmologique, l'imagination, elle, ne s'y arrête pas. Alors comment cela continue-t-il après l'horizon ? Serait-il possible que le monde hors de vue devienne soudain complètement différent ? Qu'il s'arrête tout simplement ? Ou que seul l'espace vide se prolonge, mais pas les étoiles et les galaxies : nous vivrions alors dans un Univers-île, comme le soutenait Newton. Cependant, il n'existe pas de bons arguments pour défendre ces scénarios. L'hypothèse la plus concluante est que le monde se prolonge au-delà de l'horizon à peu près semblable à ce qu'il est ici, tout comme le Sahara ne s'arrête pas après l'horizon. Cela signifie qu'à l'extérieur brillent des étoiles dont la lumière ne pénètre jamais jusqu'à nous parce qu'elles sont trop éloignées, et que ces étoiles forment des galaxies et les galaxies, des amas galactiques. Tout comme dans l'Univers observable. L'Univers est le même partout, pourrait-on dire.

Les cosmologistes ont depuis érigé l'uniformité totale en principe : le « *principe cosmologique* ». L'astrophysicien anglais Edward Milne le formula en 1933, une bonne décennie après le Grand Débat. En voici les clauses :

- 1) L'Univers est homogène : il a le même aspect quel que soit le point d'observation.
- 2) L'Univers est isotrope : il a le même aspect dans toutes les directions.

L'homogénéité de l'Univers est également appelée « principe de Copernic », c'est une généralisation de la conclusion selon laquelle la Terre n'est qu'une planète parmi d'autres, qui tourne autour d'une étoile parmi d'autres, dans une galaxie parmi d'autres. Notre point de vue cosmique n'est nullement spécial.

Les deux propriétés du principe cosmologique, l'homogénéité et l'isotropie, sont indépendantes l'une de l'autre. Par exemple, un stade de football est, vu du point du coup d'envoi, largement isotrope (à l'exclusion des deux buts).

Dans chaque direction se trouvent d'abord une couche de gazon, puis une bande publicitaire, puis les tribunes. Mais le stade n'est pas homogène, car vu des tribunes il semble tout à fait différent. En revanche, un échiquier est homogène, mais pas isotrope : il semble certes identique depuis chaque case, mais pas dans chaque direction. La dame arrive sur une case noire ou blanche, selon qu'elle se déplace en diagonale ou tout droit.

NOUS TROUVONS-NOUS DANS UN IMMENSE TROU COSMIQUE ?

Au premier regard dans le ciel nocturne, le principe cosmologique semble erroné. Là-haut, cela semble tout sauf isotrope : la plupart des étoiles sont rassemblées dans la bande étroite de la Voie lactée et à la verticale de celle-ci, c'est complètement sombre. Mais en moyenne, sur de grandes distances, la situation se révèle bien différente. Le Grand Débat avait confirmé que les taches nébuleuses découvertes par les astronomes à travers leurs télescopes étaient des galaxies éloignées. La Voie lactée est notre nébuleuse locale, vue de l'intérieur. Au cours des décennies, les astronomes repérèrent de plus en plus de galaxies et établirent que celles-ci se répartissaient uniformément sur la voûte céleste. À partir d'une échelle d'environ 100 millions d'années-lumière, l'Univers n'a plus de structure. Il est isotrope et homogène. On doit juste le regarder avec suffisamment d'imprécision. Si nous pouvions voyager jusqu'au bord de notre Univers visible, nous verrions de là un ciel nocturne semblable à celui que nous voyons de la Terre. C'est comme les rues piétonnes : lorsqu'on en connaît une, on les connaît toutes, même si les mêmes enseignes y sont abritées par des bâtiments différents. Dans le détail, les constellations d'étoiles et de galaxies sont certes différentes, de même que nous voyons des constellations différentes depuis la Terre, mais, vu de loin, tout semble tout de même identique.

Le principe cosmologique est donc plausible. Mais ce n'est pas une vérité incontestable. Certains cosmologistes croient avoir trouvé des indications prouvant que notre site cosmique n'est pas si typique. Selon leur interprétation des données astronomiques, nous nous trouvons dans un « vide » cosmique, d'un diamètre d'environ un milliard d'années-lumière, ou la matière serait beaucoup moins dense qu'ailleurs et de ce fait se dilaterait plus vite. Le ciel étoilé semblerait alors certes isotrope, c'est-à-dire égal dans toutes les directions, mais l'Univers autour de nous serait tout sauf homogène. Le cosmos serait un stade de football et non un échiquier.

Cette théorie est une alternative à l'hypothèse de l'énergie sombre, selon laquelle l'expansion de l'Univers s'accélère. Les deux paraissent folles, mais jusqu'à présent, personne n'a encore trouvé de meilleur moyen d'expliquer les observations effectuées. Jusqu'ici, seuls peu de cosmologistes croient à la théorie selon laquelle nous serions dans une sorte de « vide ». La plupart sont

fidèles à l'énergie sombre et au principe de Copernic. Mais personne ne peut être sûr qu'il va en rester ainsi.

La ligne d'horizon dans un panorama désertique n'est pas une arête ou un mur. Elle surgit parce que la Terre est une sphère qui s'incurve devant les yeux de l'observateur. Le bord de notre Univers n'est pas davantage une limite physique. Il n'y existe pas de mur impénétrable ni de rocher d'où l'on tombe dans l'abîme. C'est une limite informative. Les régions au-delà sont, comme disent les physiciens, « séparées par causalité » de nous.

De quelle taille sont les espaces situés derrière l'horizon cosmologique ? On peut peut-être le deviner, mais pas le savoir. D'un point de vue purement mathématique, l'espace pourrait être illimité et en même temps fini : il pourrait être incurvé sur lui-même, l'équivalent en trois dimensions de la surface d'un globe. Il en irait alors des astronautes dans ce cosmos comme de fourmis qui se trouveraient sur un ballon. Quelle que soit la direction dans laquelle elles avancent, elles peuvent toujours continuer à avancer. Pourtant, la surface du ballon possède une taille finie. Tout comme le ballon, l'espace pourrait se révéler fini, mais illimité, même si les mathématiciens les plus chevronnés aux-mêmes ont du mal à se représenter cela clairement. Alors, les rayons lumineux tourneraient en cercle dans l'Univers comme les fourmis sur le ballon. On pourrait voir l'arrière de sa propre tête en fixant le ciel nocturne avec assez d'attention !

L'UNIVERS EST PLAT COMME L'ALLEMAGNE DU NORD

Le mathématicien Carl Friedrich Gauss fut le premier à contrôler la courbure de l'Univers en 1810. Il mesura l'angle des rayons lumineux entre les pics du Brocken, de l'Inselberg et du Hohen Hagen. Celui qui fut peut-être le plus grand mathématicien de tous les temps découvrit ce que n'importe quel écolier aurait également pu lui dire : la somme des angles était égale à 180 degrés, comme dans tout triangle plan. Si le triangle avait été concave, ou convexe, on la somme des angles aurait été différente. Gauss en déduisit ceci : l'espace dans lequel nous vivons n'est pas incurvé. Du moins pas en Allemagne du Nord.

Pour le reste de l'espace, des astronomes recommencèrent la mesure de Gauss au début du XXI^e siècle. Avec des ballons-sondes et des satellites, ils mesurèrent l'angle de rayons lumineux provenant des profondeurs de l'Univers et confirmèrent le résultat de Gauss. L'Univers est plat.

On pourrait penser qu'un Univers plat sans limites est forcément infini, comme une immense table plate sans bord. Mais c'est une illusion de notre conception de l'espace. Du point de vue mathématique, l'espace pourrait être plat, illimité et pourtant fini. Mais peu de cosmologistes croient à cette possibilité. La plupart d'entre eux sont convaincus que l'espace physique qui

englobe le Soleil, la Lune, les étoiles et nous autres hommes s'étend infiniment loin et dans toutes les directions. « *Je crois que l'Univers est un infiniment grand et qu'il n'est qu'un Univers parmi de nombreux autres* », explique John Barrow, professeur de mathématiques et de physiques à l'Université de Cambridge. Il le croit, mais ne peut le prouver. Et ne croit pas devoir le prouver. « *Je crois que de telles assertions sont par principe indémontrables* », continue-t-il, « *et que nous reconnâtrons un jour ou l'autre que ce principe est évident.* »

Barrow fait figure de bûcheur parmi les cosmologistes. Ses costumes gris clair et sa raie de côté soignée lui confèrent une allure de représentant de vêtements pour hommes. Au cours des 30 dernières années, il a publié 417 articles spécialisés, 19 livres, un livre audio, une pièce de théâtre et 36 articles sur Internet, il a donné 37 conférences honorifiques et reçu 32 récompenses, dont il entretient laborieusement la liste sur son site Internet. Il a été nommé membre de la Royal Society et a tenu des conférences au Vatican, dans la maison du Premier ministre ainsi qu'au château de Windsor.

Sa pensée est aussi révolutionnaire que son apparence est conformiste. John Barrow fait partie des pionniers de la nouvelle cosmologie. Il est évident pour lui que la vision standard actuelle du monde de la cosmologie est déjà une vision de mondes multiples. C'est juste que de nombreux cosmologistes ne l'ont pas encore remarqué. « *Dans un Univers infini, il y a déjà assez d'espace pour la réalisation de toutes les possibilités : c'est un multivers.* », écrit-il dans son livre *Une brève histoire de l'infini*.

Expliquer l'espace infini par le multivers résout le dilemme entre fini et infini avec lequel ont lutté les cosmologistes depuis l'Antiquité. Notre Univers visible est fini, on peut en avoir une vue d'ensemble. Ce qui se trouve derrière peut être appelé « autres Univers ». Si Giordano Bruno avait vécu cela, il aurait triomphé. Et peut-être qu'Isaac Newton se serait joint à lui. Univers fini, espace infini, lui aussi avait essayé de les réconcilier. La lutte contre l'infini l'avait lui aussi poussé vers le multivers, du moins vers une sorte de multivers sériel, dans lequel les Univers se succèdent temporellement : « *Il pourrait y avoir eu d'autres systèmes-mondes avant le nôtre* », écrivit-il au théologien Richard Bentley, « *et d'autres avant ceux-ci et ainsi de suite pour l'éternité* ». 300 ans plus tard, les cosmologistes reprenaient cette idée.

D'autres systèmes-mondes ? Qu'est-ce qui les différencie de notre monde ? Newton, qui d'ordinaire était très prudent, se mit alors à spéculer. Dans la deuxième édition de son *Optique* de 1706, il écrit que l'on pourrait supposer « *que Dieu est en mesure de créer des particules de matière de différentes tailles et formes, dans différents rapports à l'espace, peut-être également de différentes densités et forces et ainsi de varier les lois de la nature et de créer des mondes de natures différentes dans différentes parties de l'Univers.* » Des mondes dans lesquels s'appliquent d'autres lois de la nature : si l'on retire Dieu, cette idée

pourrait avoir été extraite d'un essai actuel sur la théorie du multivers.

Quel que soit ce qui nous attend derrière l'horizon, selon le principe cosmologique, cela ne peut pas sortir entièrement de l'ordinaire. Mais un jour ou l'autre, les surprises arrivent d'elles-mêmes, il faut juste aller assez loin. Lorsque John Barrow parle de la « *réalisation de toutes les possibilités* », il pense vraiment à toutes les possibilités. Rien n'est trop absurde pour le multivers. Tout ce que les lois de la nature permettent a lieu quelque part dans l'océan infini des mondes. C'est une pure question statistique. Dans un espace infini, il existe une infinité de régions de la taille de notre Univers observable. Parce que chacune de ces régions n'a qu'une taille finie, elle ne peut être remplie de particules que d'un nombre fini de manières. Notre Univers doit donc exister à l'extérieur en une infinité de copies, et dans toutes les variations.

IL EXISTE UNE VIE ABONDANTE À L'EXTÉRIEUR

Que de la danse des atomes dans un espace infini naît un multivers, cette idée a de profondes racines dans l'histoire des idées. Le poète romain Lucrèce croyait déjà à la pluralité des Univers, lorsque l'on mettait juste assez d'atomes, qu'il décrivait comme des « éléments », à disposition dans l'espace infini. Dans *De la nature des choses*, il aurait écrit la première théorie du multivers sous forme versifiée :

Partout enfin où la matière immense trouvera un espace pour la contenir, et ne rencontrera nul obstacle à son essor, elle fera éclore la vie sous des formes variées ; et si la masse des éléments est telle que pour les dénombrer les âges réunis de tous les êtres seraient insuffisants, et si la nature les a dotés des facultés qu'elle accorda aux principes auteurs de notre globe, les éléments, dans les autres régions de l'espace, ont semé des êtres, des mortels et des mondes...

Tout nous prouve donc que le ciel, l'océan, les astres, le soleil et tous ces grands corps de la nature, loin d'être seuls semblables à eux-mêmes, sont répandus en nombre infini dans les plaines de l'espace interminable ; leur durée est limitée, et comme les autres corps, ils ont reçu la naissance, ils subiront la mort³.

Ce que Lucrèce écrit ici en vers, le professeur viennois Ludwig Boltzmann, fondateur de la physique statistique le mit en formules. Autour de 1900, Boltzmann avait formulé la thermodynamique comme un mouvement statistique d'atomes et de molécules dont l'existence était à l'époque encore vivement controversée. Mais Boltzmann y croyait fermement et supposait audacieusement l'existence de mondes éloignés. Il ajouta ainsi à ses Leçons sur la théorie des gaz un chapitre intitulé « Application à l'Univers ». Comment est-il possible, se demandait-il, que dans l'Univers, des structures ordonnées comme la Voie lactée et le Système solaire se forment alors que la nature aspire au chaos ? Sa réponse : bien que le désordre augmente dans l'ensemble de l'Univers, il peut toujours y avoir des régions dans lesquelles des fluctuations statistiques causent davantage d'ordre. « Il doit donc se produire dans l'Univers, qui est autrement partout en équilibre thermique,

c'est-à-dire mort, ici et là, de telles régions relativement petites provenant de l'expansion de notre espace (appelons-les des mondes uniques), qui, durant la période relativement courte des éons, se sont considérablement écartées de l'équilibre thermique. »

Le multivers à la Boltzmann est le plus simple à envisager : partout règnent les mêmes lois de la nature, seule la disposition des particules varie selon la loi du hasard. Parce que l'espace est infiniment grand, le hasard le plus incroyable survient également un jour quelque part. Cela pourrait être par exemple ce livre qui vous saute spontanément des mains dans l'instant et s'enfuit sur ses pages, si les mouvements thermiques de ses atomes coïncident par hasard. Ou bien imaginez que les atomes dans votre chambre forment spontanément une entité consciente. Peut-être faite de silicium, peut-être de chair et de sang. C'est extrêmement improbable, mais pas contraire aux lois de la nature. Les cosmologistes appellent « cerveaux de Boltzmann » de telles créations spontanées.

Ne vous préparez pas tout de suite à l'arrivée d'un interlocuteur inattendu, car vous devrez probablement attendre quelques billions d'années le prochain cerveau de Boltzmann à proximité de vous. Ou voyager très loin jusqu'à un lieu situé bien au-delà de l'Univers visible. Mais il n'est pas exclu que vous soyez vous-même un cerveau de Boltzmann, surgi il y a une seconde du désordre des atomes, avec un faux souvenir de votre vie jusqu'alors. « J'espère que nous ne sommes pas des cerveaux de Boltzmann », dit Alexander Vilenkin, « mais c'est difficile à prouver. » Boltzmann non plus ne croyait pas que notre Univers se soit matérialisé tout prêt hors du bouillonnement cosmique. Mais il croyait qu'il provenait d'un caprice de la statistique : une île d'ordre dans le chaos cosmique. Et parce que dans le cosmos infini régi par le hasard rien ne reste un cas isolé, notre île ne peut être la seule. Il doit exister une abondance de vie là-bas, à l'extérieur, Boltzmann en était sûr, sans avoir jamais jeté un coup d'œil dans un télescope.

D'après les lois de la statistique, les autres mondes et leurs habitants se trouvent selon toute vraisemblance loin au-delà de notre horizon. Boltzmann tenta d'estimer la distance nous séparant des êtres extraterrestres les plus proches. Malheureusement, ils sont beaucoup trop loin, en déduisit-il. Les étrangers ne pourront « jamais être découverts puisqu'ils seraient séparés de nous dans le temps par des éons et dans l'espace par 10 puissance 10 puissance 10 fois la distance de Sirius et que de plus leur langue n'a rien à voir avec la nôtre. » La distance de l'étoile de Sirius à la Terre était alors la mesure courante pour exprimer les distances cosmiques. On ne sait pas vraiment comment Boltzmann arriva à cette estimation, mais en tout cas on devrait, selon ses calculs, aligner l'Univers visible depuis la Terre $10^{100\,000\,000\,000}$ fois pour rencontrer un être intelligent.

Boltzmann lui-même ne semblait manifestement pas convaincu par ses propres constructions mentales. Personne, écrivit-il, « ne tiendrait de telles

spéculations pour des découvertes importantes ou même, comme le faisaient probablement les philosophes antiques, pour le but le plus élevé de la science. » Mais il ajoutait : « Qui sait si elles n'élargissent pas quand même l'horizon de notre cercle d'idées et si, en augmentant la mobilité de la pensée, elles n'encouragent pas également la connaissance des choses pouvant être prouvées. » Les mondes au-delà du nôtre se trouvent hors de portée de la science, pensait Boltzmann. Mais il était intellectuellement trop en avance sur son temps pour s'y adapter. Atomes et extraterrestres, voilà qui était trop osé pour nombre de ses collègues physiciens. La vision du monde de Boltzmann s'éteignit avec lui, lorsqu'il se pendit au cours de l'été 1906.

LES EXTRATERRESTRES NE S'INTÉRESSENT PROBABLEMENT PAS À NOUS...

Aujourd'hui, aucun scientifique ne doute plus de l'existence des atomes et les suppositions de Boltzmann sur la vie extraterrestre semblent plutôt trop prudentes que trop audacieuses. Si nous devons notre origine non pas à un pur hasard, mais à des mécanismes naturels, alors ces mécanismes ont probablement également produit ailleurs de la vie intelligente. Autour des étoiles de notre Univers gravitent en tout approximativement 10^{22} planètes. La Voie lactée à elle seule doit contenir plusieurs milliards de planètes semblables à la Terre, supposent certains astronomes. Pourquoi seule la nôtre serait-elle peuplée ? Les astronomes ont prouvé entre-temps l'existence de plusieurs centaines d'autres systèmes planétaires, dont certains pourraient offrir des conditions de vie agréables. Seule une minorité de scientifiques croient encore que nous avons l'Univers pour nous seuls.

Et ainsi, la quête d'autres habitats éloignés est devenue une course mondiale de la recherche. Depuis le printemps 2009, le télescope spatial américain Kepler gravite autour du Soleil et guette les planètes d'autres étoiles. Il pourrait trouver sur ces planètes de l'oxygène et de l'eau, peut-être des océans entiers. Au cours des prochaines décennies, des missions encore plus précises des agences spatiales américaine et européenne devraient suivre. Quelques chercheurs scrutent le ciel à la recherche de signaux extraterrestres. Des instructions ont également déjà été données sur la marche à suivre en cas de contact : « *ne pas renvoyer de signal, mais avertir le Secrétaire général des Nations unies* ».

Mais pourquoi devons-nous épier aussi intensément ? Si le cosmos fourmille vraiment de vie intelligente, pourquoi n'en avons-nous encore rien entendu ? C'est le célèbre paradoxe de Fermi, nommé d'après le physicien nucléaire et prix Nobel Enrico Fermi, qui, au cours d'une discussion sur les extraterrestres en 1950, demanda à ses collègues : « *Where is everybody ?* », où sont-ils donc tous ? Il existe d'innombrables tentatives d'explication. Ils ne seraient pas encore assez développés. Ou déjà éteints. Peut-être menons-nous

un dialogue de sourds, comme le supposait Boltzmann. Peut-être ne s'intéressent-ils simplement pas à nous. Cette crainte a été exprimée par Michio Kaku, physicien de l'Université de la ville de New York : « *Imaginez qu'en vous promenant, vous voyez une fourmilière. Leur dites-vous : "Je vous apporte de riches présents, conduisez-moi à votre chef" ? Non, vous continuez simplement votre chemin. La différence entre les fourmis et nous est plus petite qu'entre nous et les civilisations avancées de l'espace.* » Nous pourrions être les riverains d'un couloir aérien intergalactique et ne pas le remarquer davantage que les fourmis ne remarquent une autoroute.

La solution définitive du paradoxe de Fermi pourrait se trouver dans le multivers. L'auteur de science-fiction et physicien anglais Stephen Baxter envisage différentes réponses possibles au paradoxe dans sa trilogie *Manifold (Les Univers multiples)*. L'une d'elle est qu'un Univers est, à la longue, trop petit pour deux civilisations. L'une détruirait l'autre. Si nous avons des voisins, nous ne serions plus là.

1. Traduction de M. Guizot, 1864.

2. Martin Buber, *Le problème de l'homme*.

3. Lucrèce, *De la nature des choses*, trad. De Pongerville, 1823.

5

Du début de ce monde

« Sans la cosmologie, l'humanité serait aveugle. Nous ne saurions ni d'où nous venons ni où nous allons. Nous pouvons bien mieux profiter de la vie si nous avons une vision d'ensemble et connaissons notre place dans le cosmos. »

Max Tegmark, cosmologiste, 2008

Ils avaient cinq dollars, deux bouteilles d'eau-de-vie, des œufs, du chocolat et des fraises, un permis moto expiré et deux pagaies. Et un plan : mettre à l'eau le kayak pliant sur la plage de la presqu'île de Crimée, payer 270 kilomètres sur la mer Noire en direction du sud, accoster sur la côte turque, se présenter au consulat danois puis aller jusqu'à Copenhague pour faire de la physique quantique avec Niels Bohr.

Le premier jour, la fuite leur parut tout à fait romantique. La mer était calme, ils avançaient bien et se réjouissaient de la rencontre de quelques marsouins qui accompagnaient le bateau un moment. Le deuxième jour, le temps changea. Ils pagayaient en avant, mais le vent les poussait en arrière, la mer était blanche d'écume. Le troisième jour, la tempête rejeta le couple épuisé dans leur kayak pliant sur la côte, à 70 kilomètres de leur point de départ. Des pêcheurs les amenèrent à l'hôpital. Ils étaient de retour en Union soviétique.

C'était en 1932 et l'histoire de la cosmologie aurait pris une tournure différente si Liouba Vokhminzeva et son mari George Gamow s'étaient noyés en mer Noire. Sept ans après l'échec de leur tentative de fuite, George Gamow préparait la théorie du Big Bang.

Gamow avait l'idée que l'Univers n'avait peut-être pas existé de toute éternité, mais pouvait avoir eu un début, une naissance de la matière, de l'espace et du temps. Cette idée était bien loin de toutes les constructions intellectuelles qu'ont pu, longtemps, élaborer les physiciens. Lorsque les astronomes spéculaient sur un début de l'Univers, ils pensaient plutôt à un Tout rempli de gaz, dans lequel petit à petit les étoiles et les galaxies se seraient formées. Mais un début de tout, du temps lui-même ? Impensable. Finalement, tous les scientifiques renommés d'Aristote à Copernic et de Newton jusqu'au jeune Albert Einstein ont cru que l'Univers existait de toute

éternité. Mais l'histoire de la cosmologie le prouve : une idée sur notre monde n'est jamais trop folle.

Il fallut trois essais et quarante ans pour que l'idée folle du Big Bang s'impose. Dans les années 1920, le physicien et prêtre Georges Lemaître pensait que dans la théorie de la relativité d'Einstein, l'espace et le temps pouvaient avoir été formés par l'explosion d'un « atome primitif », comprimé de manière infiniment dense. Dans les années 1940, George Gamow proposa le Big Bang comme origine de la matière. Les deux théories tombèrent dans l'oubli. En 1965, la découverte, par Arno Penzias et Robert Wilson, récompensé pour cela d'un prix Nobel de Physique, du fond diffus cosmologique, rayonnement électromagnétique issu de l'époque dense et chaude des débuts de l'Univers, confirma la théorie du Big Bang.

Le début de tout était à l'époque, pour de nombreux cosmologistes, une hypothèse inconsistante, quand on l'enseigne aujourd'hui à l'école. Le débat sur le multivers rouvre les vieilles blessures. Il s'agit à nouveau de questions fondamentales, des limites du savoir et même de la fin de la science. L'idée du multivers a elle aussi été avancée plusieurs fois, par des spécialistes différents et pour finir par les physiciens à la recherche de la théorie du Tout. Pour comprendre la querelle actuelle autour du multivers, il faut se rappeler comment le modèle du Big Bang est autrefois passé du statut d'hypothèse marginale à celui de vision du monde largement acceptée. Si la théorie du multivers doit le remplacer, elle doit être meilleure.

La découverte du Big Bang marqua le début d'une phase importante de la cosmologie. Les observations du ciel effectuées par les astronomes devinrent de plus en plus précises, les théories des cosmologistes de plus en plus détaillées, les deux s'assemblaient de mieux en mieux. En 80 ans, une vision du monde se forma, qui domine aujourd'hui la cosmologie presque comme un dogme. C'est l'histoire de la création de la physique moderne.

L'IDÉE DE LA SOUPE PRIMORDIALE

George Gamow, cheveux blond filasse, yeux bleus, verres de lunettes aussi épais que des culs-de-bouteille joue le rôle principal dans cette histoire. Né en 1904 d'une famille d'intellectuels russes. Ses parents étaient professeurs, son grand-père maternel le puissant archevêque d'Odessa, son grand-père paternel avait combattu comme général dans l'armée de la Russie impériale. Une parenté qui pouvait s'avérer dangereuse...

À 7 ans, sa mère lui lit Jules Verne. À 13, il place une hostie bénie récupérée à la messe sous un microscope afin de réfuter sa prétendue transformation en chair du Christ. L'hostie ressemblait davantage à du pain qu'à sa propre peau, constata-t-il. « *Cette expérience fit de moi un scientifique* »,

écrivit Gamow dans son autobiographie. À 25 ans, il était professeur de physique à l'Université de Leningrad et avait déjà effectué des séjours de recherche à Göttingen, Cambridge et Copenhague, où les meilleurs physiciens du monde développaient la mécanique quantique. Il avait participé à l'élaboration de la théorie de la radioactivité pour laquelle il fut honoré d'un poème en une du plus grand journal soviétique, la *Pravda*.

Le monde de Gamow, ce n'était pas les étoiles, mais les atomes. Il n'était pas astronome, mais physicien quantique et explorait l'infiniment petit. Ces recherches le lancèrent sur les traces de l'infiniment grand. Gamow expliquait l'Univers à l'aide de quelques atomes. C'est ainsi que commença la fusion, lourde de conséquences, de deux puissantes disciplines des sciences : l'astronomie et la physique des particules, l'infiniment grand et l'infiniment petit.

Mais Gamow dut d'abord faire face à un problème terrestre : le communisme. La mécanique quantique était pour les marxistes un sous-produit idéaliste, car, selon elle, c'est le hasard qui régit l'infiniment petit. Or le hasard contrevient à la vision du monde déterministe du matérialisme historique, selon lequel l'humanité trouve son achèvement dans une société sans classe. Il s'agit certes dans un cas d'atomes et dans l'autre de la société, mais le communisme devait également être une théorie du Tout.

Même si la mécanique quantique abstraite était d'un niveau trop élevé pour les cadres du Parti, l'atmosphère de bouleversement dans le monde de la physique n'échappa pas aux intellectuels. À l'Université de Leningrad, fief de la physique moderne, ce sont surtout les philosophes qui tentaient de démonter la physique quantique, et ils avaient des liens avec la politique. La lutte se tourna contre ceux qui étaient soupçonnés d'intrigues bourgeoises.

Lorsque Gamow expliqua dans une conférence officielle le principe d'incertitude d'Heisenberg, selon lequel, pour une particule massive donnée, on ne peut connaître simultanément sa position et sa vitesse, un philosophe proche du gouvernement interrompit la séance et renvoya les auditeurs chez eux. Son Université ordonna à Gamow de ne plus jamais parler en public du principe d'incertitude. Un an plus tard, il reçut pourtant à sa grande surprise l'autorisation de se rendre avec sa femme à Bruxelles au Congrès Solvay de physique nucléaire. Les époux Gamow quittèrent l'Union soviétique pour ne plus jamais y remettre les pieds. Il était grand temps : une vague d'arrestations touchait la communauté des physiciens de Leningrad et de toute l'Union soviétique. Certains chercheurs furent même condamnés à mort.

George Gamow, lui, était en sécurité. À 30 ans, il fut nommé professeur à l'Université George Washington à Washington D.C. Il impressionna ses collègues par son humour et sa polyvalence : il parlait russe, danois, français, anglais et allemand, réfléchissait au moteur à explosion aussi bien qu'à la physique nucléaire, rédigeait des travaux sur la structure de l'ADN et la nature de l'intérieur de la Terre. « *Gamow avait des idées fantastiques* », disait

son collègue Edward Teller, l'inventeur de la bombe à hydrogène, « *elles étaient justes ou fausses, plus souvent fausses que justes, mais toujours intéressantes. Et lorsqu'elles n'étaient pas fausses, elles étaient non seulement justes, mais également novatrices.* »

Pourquoi, se demandait Gamow, existe-t-il des éléments chimiques si différents ? 92 éléments sont présents dans la nature : de l'hydrogène, dont le noyau est constitué d'un seul proton, à l'uranium dont le noyau contient 92 protons et plus de 100 neutrons. Gamow supposait que les neutrons et les protons pouvaient fusionner à des températures élevées pour devenir des noyaux d'atome plus lourds.

Le cœur des étoiles n'était ni assez dense ni assez chaud pour cela. Il devait y avoir une autre explication : « *un processus explosif qui eut lieu au "début du temps" et entraîna l'expansion actuelle de l'Univers* ». C'est ainsi que le formula Gamow en 1942 dans un compte-rendu. Dans le détail, l'idée de Gamow s'est révélée fausse. On sait aujourd'hui que les éléments chimiques au-delà du fer se forment lors de l'explosion de très grosses étoiles, les supernovae. En revanche, une part des isotopes de l'hélium et du lithium ont bien une origine cosmologique.

L'astronome Edwin Hubble avait prouvé dans les années 1920 que l'Univers était en expansion. Depuis le Mont Wilson en Californie, il avait étudié avec un télescope la lumière de galaxies lointaines et constaté que les ondes lumineuses étaient décalées vers le rouge. Comme pour une ambulance, dont la sirène semble plus grave après son passage (effet Doppler), la longueur d'onde de la lumière semble étirée. Les étoiles, en déduisit Hubble, s'éloignent de la Terre. D'après ses mesures, la galaxie la plus éloignée se trouvait à tout juste sept millions d'années-lumière et s'éloignait de la Terre à 1 000 kilomètres-heure. « *Les étoiles nous fuient comme la peste* », plaisanta l'astronome anglais Arthur Eddington en 1928. Hubble observa de plus en plus de galaxies et obtenait toujours la même image. Elles fuyaient toutes devant nous, plus elles étaient éloignées, plus elles allaient vite.

ALBERT EINSTEIN TROUVE LE BIG BANG HORRIBLE

Si l'Univers est en expansion, c'est qu'il devait être plus petit avant. Et avant cela, encore plus petit et avant, plus petit encore. Si on remonte le temps par la pensée, on voit l'Univers se recroqueviller en un petit grain très condensé. L'Univers en expansion s'accordait donc bien avec l'idée de Gamow d'un état initial très chaud ainsi qu'avec une solution des équations de la théorie de la Relativité générale, trouvée par Georges Lemaître dans les années 1920.

Lemaître n'était pas précisément un scientifique typique. Il avait servi pendant la Première Guerre mondiale dans l'armée belge et avait ensuite été

ordonné prêtre catholique. Puis il étudia la théorie de la Relativité à Cambridge, Harvard et au Massachusetts Institute of Technology. De retour en Belgique, il devint professeur à l'Université catholique de Louvain. Il fut le premier, en 1927, à penser que les galaxies pouvaient ne pas se déplacer à travers l'espace, mais se dilater avec l'espace lui-même. Albert Einstein ne retint d'abord rien de l'interprétation que fit Lemaître de sa théorie. Il la trouva trop proche de l'histoire chrétienne de la création et répondit à Lemaître : « *Vos calculs sont justes, mais votre physique est horrible.* »

Par ailleurs, Lemaître n'avait pas de réponse convaincante à la question sur l'origine de l'expansion. Il croyait à un atome primitif, qui était à l'origine aussi lourd que l'ensemble de la masse de l'Univers. Il se serait désintégré par un processus super-radioactif, et il en serait resté les atomes que nous connaissons, telles les « *cendres et la fumée d'un feu d'artifice brillant, mais rapide* ». C'était plutôt de la poésie cosmique que de la science.

George Gamow dut donc reprendre du début lorsqu'il développa avec son doctorant Ralph Alpher le premier modèle détaillé du Big Bang. Selon les chercheurs, au cours de la première demi-heure après le moment zéro, des éléments lourds jaillirent de la soupe primordiale brûlante. Ils baptisèrent cette première substance « *Ylem* », nom dérivé du concept grec « *Hyle* », la matière. Les alchimistes et théologiens du Moyen-Âge désignaient déjà par ce terme la substance fondamentale du monde.

Pour célébrer leur travail, Gamow acheta une bouteille de Cointreau, sur laquelle il écrivit « *YLEM* » en majuscules. Il la photographia et ajouta sa tête sur la photo, qui sortait de la bouteille comme un génie, avec, à gauche et à droite, ses collaborateurs Robert Herman et Ralph Alpher. Une image tout à fait juste. Il faudrait certes 20 ans avant que la théorie soit acceptée, mais le génie était sorti de sa bouteille.

Si aujourd'hui, les enfants apprennent à l'école que l'Univers a eu un début, c'était à l'époque une position radicalement marginale et choquante. « *Sur le plan philosophique, je trouve cette idée répugnante* », écrivait Arthur Eddington. Un début semblait soulever des difficultés insurmontables, « *à moins de le considérer simplement comme surnaturel* ». L'astronome canadien John Plaskett traita même la thèse du Big Bang de « *spéculation la plus folle de toutes* ».

George Gamow s'occupait peu de telles réserves, il avait le point de vue d'un ingénieur. Il ne remit pas en question ce qui s'était produit au moment zéro. Il accepta simplement que l'énergie de l'Univers fût concentrée au début dans quelque chose de dense et de très chaud et se lança dans les calculs.

L'UNIVERS BRIOCHE

L'adversaire le plus acharné du modèle du Big Bang se trouve sur la

pelouse de l'Institut d'astrophysique, à Cambridge. Le crâne est patiné, une araignée a tissé sa toile entre l'oreille et l'épaule. Fred Hoyle est une statue de bronze qui n'a pas l'air heureux. Les physiciens de Cambridge ont érigé ce monument en l'honneur de Hoyle. Il incarna comme nul autre la vision du monde en plein déclin de l'Univers éternel.

Hoyle avait servi pendant la Seconde Guerre mondiale comme chercheur dans le domaine des radars pour la Marine britannique. En 1942, il devint chef de département dans le laboratoire de recherche militaire de l'amirauté à Witley, au sud-est de Londres. Il y rencontra Thomas Gold et Hermann Bondi, avec qui il prépara, après les heures de service, la théorie de l'Univers éternel, de l'état stationnaire, le contre-projet à la théorie du Big Bang de Gamow, Herman et Alpher.

Selon cette théorie, les étoiles et les galaxies feraient partie d'un cycle de naissances et de disparitions. Pas de début brûlant, pas de fin à prévoir.

Les observations des astronomes n'étaient pas encore assez précises dans les années 1950 pour trancher entre la théorie du Big Bang de Gamow et celle de l'Univers éternel de Hoyle. Seules les mesures de Hubble d'autres galaxies s'éloignant de notre Voie lactée étaient acceptées. Et elles confirmaient les deux théories.

Si les galaxies s'éloignent les unes des autres, elles doivent être parties d'un point commun dans le passé, pensaient Gamow et les théoriciens du Big Bang. Imaginons une brioche aux raisins. La pâte est l'espace, les raisins sont les galaxies. Si la pâte gonfle, les raisins s'écartent les uns des autres. Peu importe depuis quel raisin on regarde les autres, tout semble toujours s'éloigner de son propre point de vue. Il n'y a pas de centre. Les galaxies ne volent donc pas comme des comètes à travers un espace infini, c'est l'espace lui-même qui s'agrandit avec son contenu. « *Si l'Univers s'agrandit, alors pourquoi est-ce que je ne trouve jamais de place pour me garer ?* », aurait demandé Woody Allen. « *Parce que la voiture s'agrandit aussi* », aurait répondu Gamow.

Fred Hoyle et ses disciples postulaient en revanche que dans les étendues de l'Univers, une nouvelle matière se créait constamment à partir du néant. Ils envisageaient le modeste chiffre de trois nouveaux atomes d'hydrogène par mètre cube par million d'années. Trop peu pour être directement mesurable, mais assez pour former de nouvelles galaxies. Ils voulaient ainsi expliquer pourquoi l'Univers, malgré son expansion continuelle, ne devenait pas de moins en moins dense. Hoyle pensait enfin que l'Univers avait un aspect assez semblable partout et pour toujours.

Il compara le processus de création à un robinet qui goutte, tout en étant incapable d'expliquer d'où venait l'eau. Lorsqu'il tint en 1950 une conférence sur la théorie de l'état stationnaire, le prix Nobel Wolfgang Pauli le prit à part au moment du dîner. « *Ce serait mieux si vous compreniez la physique de cette création* », le réprimanda-t-il. Hoyle ne sut quoi répondre à ce reproche. Il rétorqua à ceux qui le critiquaient : la supposition selon laquelle toute la

matière de l'Univers a été créée au moment zéro du Big Bang n'est pas meilleure. Les cosmologistes de l'époque n'échangeaient pas seulement des arguments scientifiques. Hoyle croyait à une véritable conspiration. « *Il est évident que certains de nos collègues poursuivent des buts religieux* », reprocha-t-il aux disciples du Big Bang. « *Les parallèles entre le Big Bang et la création décrite dans l'Ancien Testament sont évidents.* »

Un reproche injuste, pense aujourd'hui l'historien Helge Kragh, mais pas complètement absurde. À l'automne 1951, le pape Pie XII commenta la nouvelle théorie du Big Bang devant l'Académie pontificale des Sciences dans un discours intitulé « Les preuves de l'existence de Dieu à la lumière de la science actuelle de la nature ». La cosmologie moderne est arrivée à la même connaissance que les théologiens il y a déjà plus d'un millénaire, se moqua-t-il : le monde a été créé par un Créateur. Cette conclusion déplut même au théoricien du Big Bang, Georges Lemaître, pourtant chanoine. Il n'existe aucun rapport entre un modèle cosmologique défini et le christianisme, affirma-t-il. Le pape allait de toute façon un peu vite, car l'idée du Big Bang comportait encore dans les années 1950 un grave défaut : le paradoxe de l'âge.

En effet, lorsque les cosmologistes calculèrent l'âge de l'Univers à partir de la vitesse d'expansion des galaxies, ils trouvèrent deux milliards d'années. Or, d'après d'autres calculs populaires à l'époque, les étoiles et les galaxies devaient être âgées de trois à cinq milliards d'années. Comment cela pourrait-il être possible ? De son côté, le physicien nucléaire britannique Ernest Rutherford avait, au début du siècle, conclut de l'analyse des isotopes d'uranium radioactifs que la Terre devrait avoir plus de deux milliards d'années. Fred Hoyle aimait raconter l'anecdote selon laquelle Rutherford rencontra à Cambridge l'astrophysicien Arthur Eddington et lui demanda : quel âge à l'Univers ? Pas plus de 2 000 millions d'années, aurait répondu Eddington. Sur quoi, Rutherford sortit une pierre de son sac et dit : « *Cette pierre a au moins 3 000 millions d'années.* »

On le sait aujourd'hui : les mesures de Hubble de la vitesse de libération et de la distance des autres galaxies étaient encore imprécises à l'époque. Il calculait la vitesse des étoiles d'après leur couleur (plus elles sont rouges, plus elles sont rapides) et la distance des galaxies d'après la luminosité des étoiles pulsantes. Mais la poussière omniprésente dans l'Univers produit un effet de brouillard filtrant devant le télescope. La mesure de vitesse que fit Hubble était dix fois plus grande que les valeurs mesurées aujourd'hui.

Au cours des années, la vitesse de libération, appelée constante de Hubble, fut constamment révisée vers le bas. Parfois, des mesures si différentes circulaient qu'il fallait se mettre d'accord lors de congrès scientifiques. Aujourd'hui, les astronomes partent du principe que deux galaxies distantes l'une de l'autre de trois millions d'années-lumière s'écartent l'une de l'autre du fait de l'expansion de l'espace à une vitesse de 70 kilomètres par seconde, plus ou moins dix pour cent (notre voisine, la galaxie d'Andromède se trouve

à 2,5 millions d'années-lumière de la Voie lactée). L'âge de l'Univers est aujourd'hui estimé à environ 14 milliards d'années.

LES TÉLÉVISEURS CAPTENT L'ÉCHO DU BIG BANG

Dans les années 1960, la querelle entre les cosmologistes du Big Bang et ceux de l'état stationnaire fut finalement tranchée par une découverte fortuite. Arno Penzias et Robert Wilson, employés de Bell Laboratories, voulaient tester une antenne de communication satellite. Lorsqu'ils exploitèrent leurs signaux, ils s'étonnèrent d'un grésillement régulier dans la gamme de fréquences des micro-ondes. Le couple de pigeons qui nichait dans l'antenne cornet de six mètres de long fut temporairement soupçonné d'être à la source du brouillage. Mais même après avoir enlevé la « substance blanche diélectrique » (c'est ainsi que les chercheurs décrivirent les excréments de pigeons), le grésillement était toujours là. Ils commencèrent enfin à comprendre : un mystérieux « grésillement de fond » remplit tout l'Univers. C'est l'écho du Big Bang.

Le cosmologiste sir Martin Rees, pourtant plutôt agnostique, parle avec recueillement des « *dernières lueurs de la création* ». Rees n'est pas le premier venu : président de la Royal Society, il est le plus haut représentant de la science en Grande-Bretagne, et la reine d'Angleterre lui a conféré en 1995 le titre d'Astronome Royal, ce dont seuls quinze astronomes britanniques peuvent se prévaloir depuis... 1675 !

Depuis toutes les directions du ciel, des rayons électromagnétiques d'une longueur d'onde de l'ordre du millimètre ou du centimètre heurtent la surface de la Terre, quelle que soit l'heure de la journée ou la saison. Chaque morceau de l'Univers de la taille d'un morceau de sucre comprend 400 particules de lumière de ce grésillement cosmique. Tout le monde peut les recevoir avec l'antenne intérieure d'un téléviseur analogique. Le grésillement primitif contribue à un pour cent au « brouillard » des vieux téléviseurs. Malheureusement, les téléviseurs numériques ne reçoivent plus cette trace du Big Bang...

Robert Wilson affirma plus tard n'avoir compris l'importance de sa propre découverte qu'en lisant un rapport à ce sujet dans le *New York Times*. Ses collègues ne lui en voulurent pas. Pour la découverte du fond diffus cosmologique, il reçut avec Penzias le prix Nobel en 1978.

Le fond diffus cosmologique enfonça le dernier clou du cercueil de la théorie de l'état stationnaire. Il est, avec l'expansion de l'Univers, l'indice le plus important du Big Bang. C'est surtout l'uniformité des micro-ondes qui enchante les scientifiques. Peu importe que l'on scrute le ciel au pôle Nord ou dans l'hémisphère Sud, le rayonnement a partout presque exactement la même longueur d'onde, comme le rayonnement thermique d'un four uniformément tempéré. Cela signifie que toutes les zones de l'Univers

devaient avoir été en contact à un moment antérieur.

Au début, l'ensemble de la matière de l'Univers devrait avoir été un plasma dense et brûlant. Au cours des premières années après le Big Bang, des ions et des électrons volaient à travers l'Univers comme des grains de sable dans une tempête. L'Univers était brûlant, et opaque, car les particules de lumière entraient constamment en collision avec des particules élémentaires riches en énergie. Ce n'est qu'au bout de 400 000 ans que la tempête s'est apaisée. Le ballon de feu s'est refroidi pour atteindre à peu près la température qui règne aujourd'hui à la surface du Soleil, soit quelques milliers de degrés. Les électrons se lient avec les ions pour former des atomes neutres, l'Univers est devenu transparent. Le rayonnement pouvait dorénavant se propager en paix.

Si nous avons vécu 400 000 ans après le Big Bang, nous aurions vu un ciel au rougeolement orange. Grâce à l'expansion de l'Univers, celui-ci a continué à se refroidir, la longueur d'onde de la lumière s'est allongée. Le fond diffus cosmologique des micro-ondes n'est plus équivalent aujourd'hui qu'à -270°C , trois degrés au-dessus du zéro absolu, limite théorique de la température, où tout mouvement atomique cesse.

En plus de l'écho du Big Bang et de l'expansion de l'Univers, il existe un autre indice du Big Bang, que l'on doit, c'est ironique, au principal détracteur du Big Bang lui-même, Hoyle. Les étoiles sont constituées de 75 % d'hydrogène, 23 à 24 % d'hélium, le reste d'oxygène, de silicium et de quelques autres éléments. Hoyle découvrit qu'autant d'hélium ne pouvait s'être formé que par la fusion nucléaire dans une étoile géante et à plusieurs milliards de degrés. Mais il n'existait pas tant d'étoiles géantes au début de l'Univers. Il fut vite évident que l'hélium avait une unique source : le Big Bang. Il se forma également du deutérium et du lithium dans les premières secondes et minutes à partir de la soupe primordiale brûlante.

À la fin des années 1970, le Big Bang fut largement accepté comme un fait. L'expansion de l'Univers, le fond diffus cosmologique et la formation des éléments, autant de preuves apportées à la théorie. S'il avait dû laisser un slogan à la postérité, l'éminent physicien Richard Feynman affirma un jour que cela aurait été celui-ci : « *Tout est constitué d'atomes.* » Sir Martin Rees propose aujourd'hui : « *Le monde a un début.* »

Dans les années 1980, l'histoire de la création semblait pratiquement achevée. Il ne restait plus qu'à intégrer quelques détails, pensaient de nombreux cosmologistes, comme les dernières lettres dans une grille de mots-croisés. L'un de ces détails était la courbure de l'espace.

Un espace incurvé : qu'une telle chose existât, Albert Einstein s'en était rendu compte au début du XX^e siècle. Dans sa théorie de la Relativité, l'espace n'est plus seulement une scène rigide où apparaît le monde physique. Il devient lui-même une partie du spectacle, se laisse étirer et incurver des manières les plus folles. Deux tendances antagonistes sont en compétition : l'élan du Big Bang le pousse à s'étendre, la force de gravité de

toute la matière qu'il contient le réprime. Le destin de l'Univers dépend de la force gagnante. S'il n'y a pas assez de matière pour retenir l'élan primitif, l'Univers est incurvé négativement (c'est-à-dire « ouvert ») et continue toujours de s'étendre, la matière se dilue, le cosmos refroidit. Les cosmologistes appellent ce scénario « *BigFreeze* », la « mort thermique ». Dans ce scénario, si l'on rapportait l'Univers à deux dimensions, il aurait la forme d'une selle. Dans un Univers positivement incurvé (c'est-à-dire « fermé »), la gravitation gagne. Elle freine l'expansion et l'inverse. L'Univers s'effondre à nouveau sur lui-même et finit en « *Big Crunch* », le grand craquement. En deux dimensions, l'Univers aurait alors la forme d'une sphère.

Big Crunch ou Big Freeze, le feu ou la glace ? Pour prévoir quelle fin attend le monde, les astrophysiciens ont fait monter des ballons de l'Antarctique et envoyé le satellite COBE (*Cosmic Background Explorer*). À bord, des instruments de mesure, qui pouvaient recevoir sans interférence de l'atmosphère terrestre l'écho du Big Bang. Avec les micro-ondes provenant des profondeurs de l'Univers, les chercheurs mesurèrent l'espace comme des arpenteurs un terrain.

L'UNIVERS EST UN DISQUE

Le résultat les surprit tous, partisans du Big Freeze comme ceux du Big Crunch. L'Univers ne serait ni franchement ouvert ni totalement fermé, mais entre les deux : localement, il serait plat. Imaginons que nous vivons sur un ballon tellement gonflé que si l'on regarde autour de nous, sa courbure est indécélable, et le ballon nous apparaît plat. La géométrie cosmique correspondrait ainsi au plus intuitif de tous les paysages, la géométrie euclidienne, que le mathématicien grec Euclide d'Alexandrie avait déjà décrite 300 ans avant Jésus-Christ. Si le monde était bidimensionnel, il serait un disque infiniment grand. En trois dimensions, un Univers plat ressemble à une étagère à livres : les lignes parallèles restent parallèles, la somme des angles dans un triangle est égale à 180 degrés. L'espace est comme repassé. Quel ennui !, aurait peut-être pensé Einstein.

Mais comme c'est étrange aussi : pour que l'Univers soit plat, ou presque plat, l'élan initial de l'Univers devait être exactement accordé à son contenu de matière. Un Big Bang un peu plus doux ou un peu plus fort d'un rien et s'en était fait de la platitude. C'est comme si quelqu'un lançait un ballon si précisément dans les airs qu'il se retrouvait sur la pointe d'une hampe. Une fois de plus, il semble que notre monde est le résultat d'un hasard inconcevable.

La théorie classique du Big Bang ne peut expliquer ce hasard. Mais il existe une hypothèse : dans son tout premier instant, l'Univers pourrait s'être dilaté à la vitesse de l'éclair, passant d'une taille inférieure à celle d'un petit pois à une sphère d'un diamètre de milliards d'années-lumière. Tous les plis de

l'espace auraient été lissés par cette expansion. Cette théorie s'appelle la *théorie de l'inflation* (du latin *inflare* , *se dilater*) et de nombreux cosmologistes la considèrent depuis comme une composante du modèle du Big Bang bien qu'elle soit encore loin d'être prouvée. Et bien qu'il faille payer pour cela un prix élevé : la théorie de l'inflation est indissociable d'une nouvelle idée du multivers (nous verrons pourquoi plus loin).

Le multivers serait peut-être justement ce qui manque aux théoriciens du Big Bang. Ils ont commencé par mettre à bas la théorie d'un Univers éternel de Hoyle. Et ils se trouvent maintenant face à un multivers éternel, dans lequel naissent et disparaissent des Univers uniques, mais où les Univers dans leur ensemble existent depuis toujours et pour toujours. Il n'y aurait pas un seul, mais une infinité de Big Bangs. L'un d'eux aurait créé notre Univers. En temps normal, presque personne ne s'arrêterait à de telles spéculations. Mais l'époque n'est pas normale. La cosmologie est en crise. Peut-être que seule la vision des mondes multiples peut la résoudre.

6

La cosmologie en crise

Qui sait si tout l'Univers visible n'est pas comme une goutte d'eau à la surface de la Terre ? Les habitants de cette goutte, aussi minuscules que nous par rapport à la Voie lactée, ne pourraient jamais deviner qu'il existe en dehors de cette goutte d'eau des choses comme du fer ou du tissu vivant.

Émile Borel, mathématicien, *L'Espace et le temps*, 1922

L'Univers est ausculté sur toutes les fréquences comme un patient en unité de soins intensifs. La Terre est criblée de détecteurs de rayons X, de rayons infrarouges, de rayons UV, d'ondes radio, de lumière visible et de particules élémentaires. Sur le haut plateau chilien d'Atacama, des astronomes ont installé à 5 200 mètres d'altitude un télescope qui doit découvrir une nouvelle galaxie toutes les trois minutes dans certaines régions du ciel. Les chercheurs dans le domaine des particules immergent des détecteurs de lumière au fond du lac Baïkal et dans la glace de l'Antarctique. Dans la pampa argentine, il y a des détecteurs sur une surface de la taille des Yvelines pour mesurer les particules cosmiques. À Arecibo, ville portoricaine, est encastrée dans le karst la plus grande parabole du monde, un radiotélescope qui peut être interconnecté à des douzaines de radiotélescopes tout autour du globe. Près de Hanovre (projet Geo), près de Pise (projet Virgo) et dans les États américains de Louisiane et de Washington (projet Ligo), les lasers des interféromètres permettent de détecter des ondes gravitationnelles. Mais pour les chercheurs, la Terre ne suffit pas. En orbite s'amassent des satellites de recherche qui scrutent l'Univers. Le télescope Hubble observe l'Univers à 13 milliards d'années-lumière de profondeur, presque jusqu'à l'horizon de l'Univers visible.

La plus grande opération de mise sur écoute du ciel fait partie d'un projet encore plus important et audacieux : comprendre comment tout a commencé et où tout finit, c'est-à-dire l'histoire des étoiles, de l'espace et du Big Bang. Les cosmologistes tentent de condenser toutes les observations en une vision du monde concluante, une théorie de l'Univers.

Il y a encore peu de temps, ils pensaient être sur la voie du succès. Stephen Hawking idéalisait la mesure du rayonnement résiduel du Big Bang par le satellite COBE en 1992 comme « *la plus grande découverte de ce siècle, si ce*

n'est de tous les temps ». COBE avait détecté de subtiles variations d'intensité dans le rayonnement des micro-ondes, une indication des différences de densité de l'Univers antérieur, à l'origine des étoiles et des galaxies. Peu après le changement de siècle, le cosmologiste Michael Turner de l'Université de Chicago, une des figures de proue du domaine, écrivit : « *Nous nous trouvons au cœur de la période la plus passionnante des découvertes cosmologiques.* » En 2006, John Mather et George Smoot reçurent le prix Nobel de physique pour leur travail sur le fond diffus cosmologique effectué à l'aide du satellite COBE, et les derniers obstacles semblaient sur le point de se lever : « *La cosmologie a été dominée depuis l'Antiquité par les spéculations, cette époque est révolue !* », se réjouissait le lauréat Smoot. « *Maintenant arrive l'ère de la science.* »

Quelle présomption ! L'humanité, domiciliée sur une miette du cosmos, civilisée depuis seulement quelques milliers d'années, croit pouvoir expliquer l'histoire du monde depuis la seconde zéro ainsi que tout ce qui a suivi, et suivra. Elle est déjà arrivée plusieurs fois à un tel point. Aristote et Ptolémée étaient également convaincus d'avoir déchiffré l'Univers. Ils en étaient bien loin.

À l'allégresse se mêlèrent des critiques. « *Nous faisons fausse route* », avertit Richard Lieu, chercheur dans le domaine des galaxies. Les suppositions fondamentales de la cosmologie seraient invérifiables et cela ne poserait aucun problème aux cosmologistes d'expliquer « *l'inconnu par encore plus d'inconnu* » ? La version standard de la création de l'Univers reposerait « *pour une part effrayante sur de la propagande. Les indices contraires au modèle cosmologique standard sont réprimés, les modèles alternatifs assujettis.* » Le cosmologiste Lee Smolin a écrit un livre entier contre la nouvelle vision du monde (*The Trouble with Physics*, traduit en français *Rien ne va plus en physique*) et pense qu'on peut bien présenter des idées, « *mais que lorsqu'une théorie n'explique ni ne prédit rien, alors ce n'est plus de la science* ». Le théoricien Paul Steinhardt de l'Université de Princeton attaque lui-aussi certaines idées cosmologiques actuelles : « *Pour moi, ce n'est plus de la science intéressante, ce n'est plus qu'une construction intellectuelle.* » Et l'astronome allemand Günther Hasinger reconnaît : « *J'ai parfois le sentiment que plus nous en apprenons, moins nous en savons.* » En fonction des personnes interrogées, la science du cosmos serait soit à son apogée soit au bord du gouffre. Qui a raison ?

La querelle provient de deux problèmes liés l'un à l'autre. Le premier est que si l'on réunit toutes les données d'observation et les théories physiques en un modèle cosmologique, on obtient de prime abord une œuvre d'art totale et concluante. Mais le prix à payer est élevé. Il faut admettre que l'Univers est constitué à 95 % de masse et d'énergie mystérieuses, pour lesquelles il n'existe jusqu'à présent à peine plus que des noms : « *énergie noire* » et « *matière noire* ». Seuls 4 % de l'Univers sont des atomes normaux, moins de 1 % sont des neutrinos. Les théoriciens du Big Bang doivent

rafistoler leur modèle comme le faisait autrefois Ptolémée avec le géocentrisme.

Le deuxième problème est la nano-nano-nano-et-encore-plus-petite-seconde après le Big Bang. À cet instant, la matière et l'énergie étaient si fortement condensées que ni la théorie de la Relativité (la théorie pour l'approximation) ni la mécanique quantique (la théorie pour le très petit) ne peuvent décrire la situation. On aurait besoin d'une théorie de la relativité quantique fusionnée (la théorie du Tout) qui n'existe pas pour l'instant. On dispose seulement de scénarios relativement plausibles pour le premier instant de l'Univers. Selon l'un des plus crédibles, l'Univers se serait dilaté immédiatement après le Big Bang à une vitesse fulgurante. Ces scénarios d'inflation sont particulièrement appréciés des chercheurs, car ils remédient aux graves défauts de la théorie originelle du Big Bang.

Mais quelle force peut avoir poussé l'inflation ? La mystérieuse énergie noire peut-être, qui agit comme une force gravitationnelle répulsive ? Possible, mais pas nécessaire, affirment les théoriciens qui continuent allègrement leurs calculs. Personne ne peut le leur interdire. Les astronomes auront beau construire des instruments de mesure d'une grande sensibilité, il est peu probable qu'ils puissent jamais vérifier la théorie de l'inflation par des observations. L'« ère de la spéculation », que le prix Nobel Smoot imaginait déjà derrière nous, s'éternise. Les cosmologistes actuels construisent leurs visions du monde d'une manière qui ne diffère en rien de celle d'Aristote et Démocrite autrefois, ils s'appuient seulement sur un fondement scientifique beaucoup plus grand.

Si on n'a pas l'audace de spéculer, il faut rejeter la théorie de l'inflation et s'interdire toute réflexion sur le Big Bang. Si l'on préfère néanmoins élucider le début de l'Univers par des spéculations plutôt que par rien du tout, on peut réfléchir aux conséquences de la théorie de l'inflation et on arrive ainsi aux multivers. Car si la force motrice de l'inflation a poussé notre Univers si brutalement, alors elle a pu le faire plusieurs fois, il n'y a pas un seul, mais une multitude de Big Bangs et chacun d'entre eux fait se dilater un nouvel Univers. Plus la théorie de l'inflation devient populaire, plus la question des autres mondes devient pressante. Mais traitons une question à la fois.

QUI A SI BIEN RÉGLÉ LE COSMOS ?

À la fin des années 1970, une grande partie de la communauté cosmologique avait accepté le modèle du Big Bang comme histoire de la création de l'Univers. Bien sûr, il fallut d'abord ignorer certaines questions : d'où venait toute la matière ? Qu'est-ce qui a éclaté exactement, pourquoi est-ce que cela a éclaté et comment exactement ? Qu'y avait-il avant ? Mais le modèle du Big Bang correspondait à des observations importantes faites par des astronomes et des astrophysiciens. Cependant, toutes les mesures ne

s'intégrèrent pas immédiatement au modèle du Big Bang. Les théoriciens peinèrent surtout sur deux énigmes, qu'ils baptisèrent « *problème de l'horizon* » et « *problème de la platitude* ».

Le problème de l'horizon est le suivant : pourquoi l'Univers a-t-il partout à l'horizon la même température ? L'Univers est baigné par un rayonnement thermique qui touche la Terre en venant de toutes les directions. Ce rayonnement s'est considérablement refroidi depuis le Big Bang et ne fait plus que -270°C . Et étonnamment, sa température ne varie plus que de $0,0002^{\circ}\text{C}$, soit presque rien. L'Univers visible de la Terre est tempéré aussi uniformément qu'un congélateur d'un rayon de 14 milliards d'années-lumière. Un équilibre thermique doit avoir eu lieu un jour. Mais quand et comment ? Avec le modèle originel du Big Bang, c'était inexplicable. On peut rembobiner mentalement le film de l'histoire de la création pour s'en rendre compte. Depuis la Terre, on voit cela : l'espace se ratatine à nouveau, les galaxies lointaines se rapprochent. Mais les rayonnements électromagnétiques comme la lumière et les micro-ondes, qui se déplacent le plus rapidement de tous, reviennent encore plus vite que les galaxies. Les galaxies situées au bord de notre horizon se retrouvent hors de vue. Les bords opposés de l'Univers visible peuvent donc n'avoir eu absolument aucun contact autrefois. Le problème de l'horizon est aussi mystérieux que l'idée que tous les congélateurs du monde aient soudain la même température bien que leurs propriétaires n'aient jamais eu de contacts entre eux pour se mettre d'accord sur cette température uniforme.

Le problème de la platitude n'est pas moins mystérieux. De la théorie de la Relativité d'Einstein découle que la matière pouvait déformer l'espace. Un rayon lumineux qui fonce en passant devant un corps massif verra sa trajectoire incurvée par la gravité de l'étoile. Newton avait considéré l'espace comme une scène en trois dimensions, sur laquelle se jouait le théâtre du monde. Mais après Einstein, il était évident que l'espace lui-même pouvait être courbe. Densité et courbure ont partie liée. Les travaux d'Alexandre Friedmann ont mis en évidence une valeur particulière de la densité de l'Univers qui définit la limite entre les trois types possibles, c'est la densité critique. Si la densité de l'Univers est supérieure à la densité critique, alors on est dans un scénario de type *Big Crunch* : un Univers fermé où la gravitation finira par l'emporter. Si la densité de l'Univers. Si elle est inférieure, on est dans un scénario de type *Big Freeze* : l'expansion l'emporte, l'Univers continue à se dilater infiniment. Si elle est égale à la densité critique, on est dans un Univers plat, l'expansion continue indéfiniment en se ralentissant.

Les astronomes ont vérifié avec la sonde de la NASA WMAP que l'Univers est presque plat. La densité moyenne de l'Univers est très proche de la densité critique. Dans le modèle traditionnel du Big Bang, cela frôle le miracle. C'est comme si une main invisible avait réglé parfaitement l'Univers. Cela rappelle au physicien Brian Greene la douche de sa cité Universitaire :

disque. Et si on pouvait continuer à le gonfler, les aspérités comme les Alpes deviendraient aussi plates que la Belgique.

Le problème de l'horizon était également résolu. D'après la théorie de l'inflation, tous les éléments de l'Univers étaient à l'origine en contact les uns avec les autres. Ils pouvaient adopter une température homogène comme les molécules dans un verre d'eau. Puis l'inflation gonfla l'Univers à une vitesse supérieure à celle de la lumière. De telles vitesses se heurtent à la limite de vitesse de la théorie de la Relativité, mais dans ce cas, l'espace se dilatant lui-même, une telle vitesse était donc autorisée. L'espace dépassa la lumière. Après l'inflation, l'Univers dériva plus tranquillement. Les horizons étaient maintenant inaccessibles les uns des autres, mais avaient un passé commun. Leur température était partout égale.

La théorie de l'inflation enthousiasma les physiciens. Entre 1981 et 1996, plus de 3 000 articles furent publiés à ce sujet. Le carnet d'Alan Guth est aujourd'hui conservé comme un trésor dans une vitrine de l'Adler Astronomy Museum à Chicago et Guth fut nommé professeur de physique au Massachusetts Institute of Technology. Sa théorie est encore trop spéculative pour lui valoir un prix Nobel. Par contre, le *Boston Globe* lui décerna en 2005 le prix du bureau le plus chaotique.

Pendant que les théoriciens discutaient du modèle de l'inflation, les astronomes et les astrophysiciens rassemblaient toujours plus de données sur l'Univers. Les mesures du satellite COBE et de la sonde WMAP prouvèrent que l'Univers est géométriquement presque plat. La géométrie dépend pour sa part de la répartition en masse et en énergie de l'Univers. Pour que l'espace soit plat et non incurvé, l'Univers devrait contenir en moyenne cinq atomes d'hydrogène par mètre cube (les étoiles et les planètes sont beaucoup plus denses, mais il s'agit de la valeur moyenne sur des milliards d'années-lumière). Mais la recherche de la matière habituelle dans les étoiles, les planètes et la poussière interstellaire ne donna qu'une densité de matière de 0,2 atome d'hydrogène par mètre-cube. Où étaient les 4,8 atomes d'hydrogène restants, les 95 % manquants ?

On se souvint alors de l'astrophysicien suisse Fritz Zwicky. Dès le début des années 1930, il avait observé quelque chose d'étrange dans un amas galactique de la constellation de la Vierge : les galaxies se déplaçaient comme si elles avaient une masse dix ou même cent fois plus importante que celle qu'on leur attribuait à première vue. L'amas galactique devait receler une masse supplémentaire dont la force de gravitation tirait sur les galaxies, de grands nuages de gaz interstellaires, supposait Zwicky. Mais le lest cosmique ne se comporte pas du tout comme un gaz. Il est totalement invisible et beaucoup plus lent que la matière connue. Il ne se trahit qu'indirectement à travers la force de gravité qu'il exerce sur des objets visibles.

Toutes les possibilités furent soupçonnées : épaves d'étoiles, trous noirs, neutrinos. Rien ne convenait. Il devait s'agir d'une toute nouvelle forme de

matière. Jusqu'ici, les physiciens ne possèdent presque rien de plus qu'un nom pour la décrire : la matière noire. D'après toutes les mesures, on sait aujourd'hui que la matière noire contribue à près de 25 % du bilan énergie-masse de l'Univers. On est loin des 95 % dont on aurait besoin pour un Univers plat, mais c'est un début. Il faut bien commencer quelque part.

LA MATIÈRE NOIRE VOLE À TRAVERS LE BUREAU

Les tentatives d'explication de la matière noire ne manquent pas. Les physiciens des particules soupçonnent volontiers de nouvelles particules élémentaires encore inconnues et leur donnent des noms comme WIMP (*Weaklyinteracting massive particle*, signifie également mauviette en anglais), axion et neutralino (à ne pas confondre avec neutrino). De telles hypothèses ne sont pas complètement désintéressées, les chercheurs doivent bien justifier leurs coûteux détecteurs et accélérateurs de particule, qui pourraient leur permettre de détecter les fugaces corpuscules. Le premier qui découvrira la matière noire obtiendra le prix Nobel.

Qu'on n'ait pas encore été en mesure de comprendre de quoi est constituée la matière noire est déplaisant pour la cosmologie, mais ne pose pas encore de problème existentiel. Car, pendant que les astronomes et les chercheurs de particules se creusent encore la tête pour savoir en quoi consiste la matière noire, ailleurs, on s'y réfère déjà. À l'institut Max Planck d'astrophysique de Garching bei München, les théoriciens simulent l'histoire de la création avec de superordinateurs. Le salut du concierge bavarois (*GrüssGott* : littéralement « salue Dieu ») prend ici un sens plus profond.

Simon White indique du menton son immense bureau. « *La matière noire est partout* », affirme l'Anglais, directeur de l'institut. S'il calcule bien, plus de cent particules de matière noire volent en ce moment à travers son bureau. Mais comment peut-on se référer à une particule dont l'existence n'a encore jamais été prouvée directement ? « *Il suffit de savoir qu'elles sont lourdes* », dit White. La masse exacte n'est pas si importante. Le principal est que les particules volent à travers l'Univers et attirent d'autres matières, qu'elles soient noires ou claires.

White diffuse un film de deux minutes sur son ordinateur portable : 13 milliards d'années d'histoire cosmique en accéléré, de quelques centaines de millions d'années après le Big Bang jusqu'à aujourd'hui. Pour cela, le travail de nombreux doctorants et trois mois de calcul d'un superordinateur qui se trouve au 50^e rang du classement mondial des ordinateurs ont été nécessaires. Au début, le film montre un motif de batik tissé anarchiquement en fils bleutés : la matière noire. Petit à petit, certains fils se renforcent, d'autres disparaissent. Les nœuds de communication attirent la matière normale, les premières étoiles apparaissent, quelques centaines de millions d'années après le moment zéro.

Depuis, l'Univers a produit trois générations d'étoiles. Mais depuis six milliards d'années, le taux de naissances des nouvelles étoiles ne cesse de diminuer. L'Univers est menacé d'extinction. Le cinéma des étoiles de White se déroule jusqu'à la fin du monde : la galaxie d'Andromède entrera en collision avec la Voie lactée et les étoiles tourbillonneront à travers l'Univers comme un essaim d'abeilles. Dans dix milliards d'années, nous n'habiterons plus dans une galaxie en forme de spirale, mais dans une galaxie elliptique, et pas sur Terre, car le Soleil calciné aura enflé pour devenir un grand corps céleste incandescent, une « géante rouge » qui détruira toute vie sur Terre. À la fin, les étoiles restantes mourront d'une mort similaire ou se transformeront en trous noirs. L'écran devient noir. Simon White ferme l'ordinateur. « *Ensuite, il n'y a plus rien à faire.* » Du moins pas dans cet Univers.

Il n'y a que peu de temps que les perspectives de l'Univers se sont si fortement assombries. Jusqu'en 1997, la théorie dominante de la cosmologie était la suivante : l'expansion de l'Univers se ralentirait grâce à la force d'attraction de la matière visible et de la matière noire. L'Univers s'écroulerait un jour à nouveau sur lui-même et finirait dans un Big Crunch, peut-être y aurait-il ensuite un nouveau Big Bang. Mais les cosmologistes ont pris un virage à 180 degrés. En quelques années, ils ont opéré un changement d'idée radical vers un cosmos en expansion accélérée. Cette nouvelle vision du cosmos explique certes quelques inexactitudes dans le scénario du Big Crunch, mais pose également aux scientifiques d'autant plus d'énigmes. Ils tombent de Charybde en Scylla.

LES ASTRONOMES DÉCOUVRENT L'ÉNERGIE NOIRE

Bruno Leibundgut est l'un de ceux qui sont à l'origine de ce tournant. Il travaille au quartier général de l'observatoire européen austral (ESO) à Garching, à quelques mètres seulement de Simon White, où sont coordonnées les observations avec les télescopes européens au Chili. Lorsqu'on lui rend visite, il faut laisser derrière soi toute représentation terrestre de l'espace-temps. Le bâtiment de l'ESO doit ressembler en coupe transversale aux fragments d'une explosion d'étoile, la nébuleuse du Crabe. Il n'y a presque aucun angle droit, mais de nombreux escaliers, dans lesquels on a vite fait de se perdre. « *L'architecte a reçu un prix* », explique Leibundgut comme pour s'excuser.

Bruno Leibundgut est l'un des cinq principaux experts des mesures de distances dans l'Univers. Ses doigts s'agitent, ses mains marquent les distances sur son bureau. Il étend les bras. Voici la taille de l'Univers visible. C'est le chemin que parcourt un rayon lumineux en 13,7 milliards d'années. Puis, Leibundgut divise cette distance de moitié du tranchant de la main. « *Nous savons mesurer jusque-là.* »

L'idée des mesures de distances est simple. Comme points de repère cosmiques, les scientifiques utilisent une certaine sorte d'explosions d'étoiles (les supernovae) qui, à la fin de leur vie, meurent toutes de la même mort. Elles explosent comme une puissante bombe atomique et brillent alors pendant plusieurs semaines avec plus d'éclat qu'un milliard de Soleils ou qu'une galaxie entière. Grâce à leur lumière, on peut calculer à quelle distance se trouve l'étoile. *« Quand on sait qu'une ampoule électrique a une puissance de 100 watts, on peut estimer une distance d'après sa luminosité. »*, explique Leibundgut. Les mesures de distances effectuées par les astronomes il y a 100 ans reposaient sur le même principe, sauf qu'on observait alors des étoiles scintillantes, les céphéides. Les supernovae sont encore plus fiables en tant que bougies standard de l'Univers.

D'après le décalage vers le rouge et la luminosité des supernovae, on peut calculer si l'Univers s'agrandissait auparavant plus vite ou plus lentement qu'aujourd'hui. Leibundgut compare ceci à trois voitures en train de klaxonner. L'une roule à une vitesse constante, l'autre accélère, la troisième freine. Les chercheurs qui s'intéressent aux supernovae observent la situation de loin. D'après le son du klaxon, ils déduisent la vitesse, de la luminosité des feux arrière, la distance. De plus, dans l'Univers, la distance est une mesure du passé, car plus une étoile est loin de la Terre, plus sa lumière met de temps pour nous arriver. On peut ainsi reconstruire la vitesse d'expansion de l'Univers du Big Bang jusqu'à aujourd'hui.

Pour détecter les supernovae, les astronomes utilisent les plus grands télescopes du monde, le Very Large Telescope au Chili, les télescopes Keck à Hawaï et le télescope Hubble, dans l'Univers. Les jours qui précèdent et suivent la nouvelle lune, lorsque la pollution lumineuse dans le ciel est la plus réduite, ils repèrent les galaxies éloignées. Ils ont collecté plus de 100 explosions d'étoiles utilisables. Lorsque le doctorant Adam Riess exploitait les premières données, il découvrit quelque chose de curieux : l'Univers ne ralentissait pas, il accélérail. Les supernovae très éloignées brillaient 25 % plus faiblement que ne le laisserait supposer un Univers freinant avec 100 % de matière.

Les chercheurs s'attendaient à trouver un Univers ralentissant et découvrirent un Univers qui s'agrandissait toujours plus vite. Une force inconnue devait le faire se disperser. Elle reçut le nom d'« *énergie noire* ».

Les collègues étaient consternés. Bruno Leibundgut se souvient encore bien d'un mail collectif de son collègue Robert Kirschner de l'Université Harvard. Celui-ci craignait une humiliation. *« Au fond de nous, nous savons que ce n'est pas possible »*, écrivit-il à son équipe, *« même si notre raison nous dit que nous ne faisons qu'interpréter une observation. »* Depuis des décennies, les cosmologistes et les astronomes avaient en tête un Univers dont l'expansion ralentissait et qui allait même vraisemblablement s'écrouler à nouveau sur lui-même à cause de la gravité. Adam Riess répondit : *« Ne croyez ni votre cœur ni votre raison, mais vos yeux. Nous sommes des observateurs ! »*

Les résultats concernant l'expansion accélérée de l'Univers furent publiés et confirmés par un deuxième groupe de recherche indépendant. Le journal scientifique américain *Science* élit ce résultat découverte de l'année 1998. Plus les astrophysiciens observèrent de supernovae au cours des années suivantes, plus ils purent reconstruire précisément l'histoire de l'Univers. Ils en déduisirent que l'expansion de l'Univers s'était en effet ralentie jusqu'à huit milliards d'années après le Big Bang, mais que depuis, c'est-à-dire au cours des six derniers milliards d'années, elle accélérât à nouveau. Les théoriciens étaient alarmés. L'accélération avait-elle la même origine que la dilatation de l'Univers au cours de la première seconde ? « *La découverte ébranla la communauté des physiciens* », se souvient Alexander Vilenkin. Certains espèrent encore aujourd'hui annuler ces résultats en les examinant de plus près. L'énergie noire leur semble trop mystérieuse. Les mesures de distances des explosions d'étoiles éloignées sont en effet extrêmement compliquées. Il existe peut-être des sources d'erreur auxquelles personne n'a encore pensé.

70 % DE L'UNIVERS APPARAÎT

L'énergie noire surprit les cosmologistes comme une ex-femme qu'on croyait disparue et qui réapparaît soudain en exigeant une pension alimentaire. En 1917, Albert Einstein croyait comme presque tous les scientifiques depuis Isaac Newton à un Univers éternel et immuable. Sa théorie de la Relativité générale prédisait pourtant un Univers qui rétrécit ou s'agrandit. Einstein ajouta donc une constante à sa théorie, qu'il désigna de la lettre grecque lambda. Elle devait agir comme une force de répulsion et maintenir l'Univers en équilibre. C'était une pure astuce de calcul, et Einstein s'en excusa plus tard.

Lorsque les observations de Hubble suggérèrent un Univers en expansion, Einstein fit machine arrière. Selon la légende, il aurait qualifié la constante cosmologique devant George Gamow de « *plus grande bêtise de [s] a vie* ». Et les cosmologistes pensèrent de même pendant de nombreuses décennies. « *La constante cosmologique était une mauvaise compagne de route* », explique aujourd'hui l'astronome de Harvard Robert Kirschner, « *au cours des 50 dernières années, chaque article sensé commençait par l'hypothèse $\lambda = 0$* ».

Mais les données des supernovae prouvant l'expansion accélérée de l'Univers ont fait revivre la vieille idée d'Einstein. « *Nous devons apprendre à vivre avec λ* », dit Kirschner. Cette grandeur agit comme une antigravitation qui disperse l'Univers. Et contrairement à Einstein, les cosmologistes d'aujourd'hui lui font bon accueil. L'énergie noire leur fournit la dernière pièce du puzzle de la nouvelle vision du monde. En effet, lorsqu'ils calculèrent à partir des mesures des supernovae le poids apporté par l'énergie noire sur la balance, ils trouvèrent environ 70 % de l'ensemble

de l'Univers. Presque exactement la masse manquante pour obtenir un Univers plat.

Plus l'Univers s'agrandit, plus la matière qui le remplit est clairsemée et plus il est fortement dominé par l'énergie noire. Dans quelques milliards d'années, l'Univers ne sera presque plus constitué que d'énergie noire. C'est du moins ce que dit la version actuelle de l'histoire de la création. Le monde finit dans l'énergie noire, et il pourrait avoir commencé sous forme d'énergie noire, pensent les chercheurs du Big Bang. Cela résoudrait en effet une autre énigme qui les tracasse : la création apparente du monde à partir de rien. Grâce à l'énergie noire, ce ne serait plus de la magie, car l'énergie noire est une propriété de l'espace, sa quantité par volume (la densité d'énergie) est constante. Cela signifie que lorsque l'espace s'agrandit, l'énergie noire ne se dilue pas, mais augmente. Les physiciens ont calculé qu'un grumeau de dix kilogrammes d'énergie noire, condensé dans une minuscule boulette, acquerrait déjà au cours de sa dilatation tellement d'énergie, que l'ensemble de ce que contient de l'Univers pourrait se matérialiser. D'où vient le grumeau originel ? Il faudrait encore résoudre ce mystère, mais cela semble moins énigmatique que l'origine de tout un cosmos.

Reste encore une question non négligeable : qu'est-ce que l'énergie noire, en fait ? Les cosmologistes ne peuvent que spéculer à ce sujet, mais ils le font très bien. Alan Guth et bien d'autres avec lui soupçonnent l'antigravitation qui provient du vide. Mais lorsqu'ils calculent sa force, ils obtiennent un chiffre avec 124 zéros, soit 123 zéros de trop, par rapport aux mesures des astronomes. « *Un ajustement fin héroïque doit à nouveau réduire l'énergie de 123 puissance dix et ne pas toucher à la 124^e décimale* », explique Lawrence Krauss de l'Université d'État de l'Arizona. Un ajustement fin, c'est le nouveau terme brûlant des physiciens. On peut aussi résumer l'état de la recherche ainsi : l'Univers est constitué à 70 % d'une énergie inconnue, sur l'estimation de laquelle les experts se trompent complètement.

Et ces gens veulent trouver la théorie du Tout ? Beaucoup d'entre eux pressentent désormais qu'ils ont cherché quelque chose qui n'existe peut-être pas. Et ils se préparent ainsi à un changement de perspective qui ressemble au passage du géocentrisme à l'héliocentrisme : Copernic écarta la Terre du centre du Système solaire, la Terre n'était qu'une planète parmi d'autres, aujourd'hui, notre Univers devient un Univers parmi de nombreux autres. L'ancien modèle de l'inflation est élargi à une théorie de l'inflation éternelle, selon laquelle l'espace ne se dilate pas une seule fois, mais sans arrêt. Le monde ferait des bulles comme un bain moussant. Chaque bulle serait le germe d'un nouvel Univers avec ses propres lois de la nature. Il n'existe plus une seule théorie du Tout, mais une infinité de théories.

La force de l'énergie noire varierait également d'un Univers à l'autre. Certains Univers, partis avec trop de matière, se seraient tout de suite écroulés sur eux-mêmes. D'autres auraient eu un excédent de matière noire, qui les aurait déchirés. Et quelques-uns aurait engendré la vie, comme le

continue à se dilater plus lentement, toutefois toujours à la vitesse de la lumière.

0,00 001 seconde

Tous les quarks s'assemblent par trois et forment des protons et des neutrons ainsi que leurs antiparticules. Grâce à des fréquences différentes de quarks et d'antiquarks, il existe un léger excédent de matière normale. Sans cette asymétrie, la matière et l'antimatière se seraient à nouveau détruites, l'Univers ne serait rempli que d'énergie.

100 secondes

L'Univers refroidit, mais est encore suffisamment chaud pour la fusion nucléaire : une partie des protons et des neutrons fusionnent pour devenir des noyaux atomiques d'hélium.

1 heure

Les protons, les noyaux atomiques d'hélium et les électrons forment un plasma, comme dans les lampes fluorescentes. Il fait plusieurs millions de degrés.

100 000 ans

Les noyaux atomiques et les électrons dérivent à travers l'Univers comme des grains de sable dans une tempête de sable. Les rayons lumineux ne vont pas loin dans ce chaos, l'Univers est opaque.

400 000 ans

Il fait plus clair. Les noyaux atomiques et les électrons se sont suffisamment refroidis pour former ensemble des atomes d'hydrogène et d'hélium. Les rayons électromagnétiques peuvent maintenant se propager librement à travers l'espace. C'est l'« écho du Big Bang », le fond diffus cosmologique de micro-ondes.

100 millions d'années

La matière noire, l'hydrogène et l'hélium se rassemblent sous l'effet de leur propre gravité et forment les premières étoiles. À l'intérieur, les atomes fusionnent pour devenir des éléments comme le carbone, l'azote, l'oxygène et

le silicium. Les étoiles ne vivent que quelques millions d'années. Puis, elles implosent et projettent des éléments lourds dans l'Univers : le stock de matériel pour la prochaine génération d'étoiles.

300 millions d'années

Les galaxies naines se réunissent pour former des galaxies. Notre Voie lactée est l'une d'entre elles. Elle est aujourd'hui constituée de 100 milliards d'étoiles.

9 milliards d'années

Notre Soleil s'est formé sur un bras de la Voie lactée à partir d'un nuage de gaz cosmique s'effondrant. Il est entouré d'un disque de poussière et de gaz. Là où se trouve la plus grande partie de la matière se forment les planètes, dont la Terre.

13,7 milliards d'années

L'homme entre en scène. Il est constitué d'atomes, qui sont nés un jour dans des étoiles. Le Soleil a utilisé aujourd'hui environ la moitié de son combustible.

¹. Fang Lizhi, physicien et dissident chinois, a lui aussi, indépendamment, imaginé le mécanisme de l'inflation.

7

Variantes du multivers

Univers n. m. – v. 1530 ; lat. *Universum*, de l'adj. *Universus* « intégral »

Le Petit Robert, dictionnaire de la langue française

Manhattan, un soir de mai 2008. Mark Oliver Everett, pseudonyme « E », est de nouveau sur scène, en jeans, barbu et avec d'imposantes lunettes. Jusqu'ici tout est normal. Mais cette fois Mister E n'a pas sa guitare. Devant lui, pas de foule déchaînée, mais des citoyens new-yorkais cultivés et silencieux assis dans des fauteuils en velours rouge. Autour de lui, ni bassiste ni batteur, mais trois physiciens en costume. Mark Everett n'est pas ici pour chanter *It's a Motherfucker* avec son groupe Eels. Il est là pour parler du multivers.

La rencontre a lieu dans le cadre du *World Science Festivals*, sorte de sommet mondial de la science. L'élite internationale des chercheurs est venue à New York : prix Nobel, historiens, philosophes. La recherche sur le cerveau est au programme ainsi que la science de la morale, les énergies renouvelables et, ce soir, le multivers. Près d'Everett sont assis le cosmologiste Max Tegmark du Massachusetts Institute of Technology ; Michio Kaku, théoricien des cordes de l'Université de la ville de New York dont le modèle est Albert Einstein et enfin le Britannique Brian Cox, qui participe à la construction de l'accélérateur de particules *Large Hadron Collider* (LHC), l'instrument géant situé près de Genève, qui fait la une des journaux, car il est censé pouvoir produire des trous noirs et des miniUnivers. Tous trois font de la physique, mais de manière tout à fait différente. Tegmark explore le cosmos comme un tout. Kaku réfléchit aux particules élémentaires. Cox construit des instruments destinés à les mesurer. Tegmark et Kaku croient à un multivers. Cox anime le débat.

Max Tegmark est le premier à passer aux aveux : « *Je crois que nous sommes en train d'avoir des discussions semblables dans d'autres mondes* », dit-il à Cox. « *Dans certains, j'ai peut-être déjà renversé mon verre d'eau sur vos genoux. Je crois vraiment que cela se passe ainsi là-bas.* »

Mark Everett ne comprend pas grand-chose au multivers, mais est très impliqué. Son père, le physicien quantique Hugh Everett III, a été le premier

scientifique à formuler une véritable théorie du multivers selon laquelle le monde se divise continuellement en mondes parallèles. C'est ainsi qu'Everett comprenait la mécanique quantique. C'était un homme peu loquace et introverti, dont certains collègues pensaient qu'il était très doué et beaucoup, qu'il était dingue. Il est mort d'un infarctus en 1982. Brian Cox demande à Mark Everett : *« Saviez-vous que votre père était un très grand physicien ? Qu'il pourrait entrer dans l'histoire au même titre qu'Einstein et Newton ? »*

« Pas avant que Max Tegmark me le dise », répond Mark Everett. *« Mon père était un mystère pour moi. »* La physique ne fait pas partie de son monde.

Michio Kaku veut donner un exemple à Everett. *« La théorie de votre père répond à la question que tout le monde se pose. Elvis Presley est-il encore vivant ? Oui, il vit dans un Univers parallèle ! La mécanique quantique est la théorie la plus célèbre de tous les temps. Et elle affirme que la réalité se divise continuellement en toutes les possibilités. »* Court silence. *« C'était quoi l'histoire avec Elvis ? »,* demande Everett. Rires dans le public.

Cox est sceptique. *« Dans mon travail, j'utilise tous les jours la mécanique quantique »,* dit-il. *« Elle fonctionne merveilleusement. Mais pourquoi devrais-je croire qu'à chaque fois que dans cette salle deux particules entrent en collision, une nouvelle copie de la salle est créée ? »* Cela découle de l'interprétation de Hugh Everett de la mécanique quantique.

« Nous devrions envisager que notre image définitive de la réalité semble bizarre », répond Tegmark. *« Notre intuition est spécialisée sur des choses qui ont garanti la survie de nos ancêtres. Si nous ne pouvions pas comprendre la trajectoire d'une pierre que quelqu'un lance sur nous, alors nous aurions disparu depuis longtemps du pool génétique. Si nos ancêtres s'étaient creusé la tête trop longtemps sur les plus petits éléments de la matière, ils auraient été dévorés. »* Tegmark se tourne vers Everett et lui dit : *« Si nous écartions les théories comme celle de votre père au motif qu'elles sont trop folles, alors nous rejeterions aussi obligatoirement la bonne théorie. La théorie définitive sera au moins aussi folle que celle de votre père. Et je suis prêt à parier tout mon argent qu'elle contiendra une forme quelconque d'Univers parallèles. »*

Ce soir, des mondes s'affrontent. Musicien de rock et physicien quantique, public et scientifiques, pages culturelles et théorie des cordes, fauteuils en velours et particules élémentaires. Mais personne ne se lève ni ne quitte la salle. Ici, les gens bavardent d'Univers parallèles comme d'autres de fonds spéculatifs, de chats ou de recettes de cuisine. Est-il possible que l'idée des mondes parallèles soit déjà depuis longtemps acceptée dans la société alors que les physiciens en cherchent encore des preuves ?

Il n'existe pas de tribunal international d'arbitrage pour décider du rejet ou de l'admission de nouvelles théories. Celles-ci ne sont pas non plus intégrées à la loi fondamentale par un vote à la majorité des deux tiers ni adoptées par des physiciens au cours de conférences. Mais il existe quelques signes évidents de l'intégration d'une théorie physique à notre vision du monde. Des questions sont posées à son sujet dans les quizz télévisés et au baccalauréat,

elle fait partie de la culture générale, appartient au bruit de fond du quotidien, est acceptée comme un fait, fait l'objet de blagues, est citée dans des romans, des films, des pièces de théâtre : la théorie du Big Bang en est arrivée là. La théorie du multivers suit peut-être la même voie.

En fait, l'idée des mondes multiples est profondément ancrée dans notre pensée. Elle réapparaît régulièrement dans l'histoire de la culture, parfois sous la forme d'un pressentiment, d'un espoir, d'une croyance, d'un fantasme et maintenant, pour la première fois, sous la forme d'une théorie scientifique. Le discours sur les autres mondes a parfois été considéré comme un éloge de la toute-puissance divine, parfois comme une hérésie. Il y a quelques décennies, les scientifiques mettaient encore leur réputation en jeu en théorisant le multivers. Aujourd'hui, il est à la mode. Au premier regard, les physiciens semblent être des pionniers qui tentent péniblement de familiariser le public avec leurs idées audacieuses. Mais en y regardant de plus près, on constate que les physiciens ont été les derniers à revendiquer cette idée. Les philosophes et les écrivains ont depuis longtemps réfléchi au multivers de manière approfondie. Toutefois, les représentations du multivers sont aussi variées que les mondes parallèles eux-mêmes.

MULTIVERS ET POÉSIE

Depuis 2 500 ans, c'est-à-dire depuis l'origine de la culture occidentale, l'idée de multivers traverse l'esprit des hommes. Les pionniers de la cosmologie de l'Antiquité grecque, les scolastiques chrétiens du Moyen-âge, les premiers scientifiques de la Renaissance ont tous réfléchi à d'autres mondes.

Au commencement des Lumières, au XVII^e siècle, lorsque l'Europe s'est libérée de l'étroitesse de pensée et du mode de vie du Moyen-Âge, l'imagination fleurit : Blaise Pascal, l'un des penseurs les plus perspicaces du siècle, se représente des Univers à l'intérieur des atomes de notre Univers. Le mathématicien anglais Joseph Raphson était convaincu « *qu'il pouvait exister non seulement une diversité de mondes, mais qu'il existait en réalité un nombre presque infini de systèmes, les lois du mouvement les plus diverses qui affectaient de nombreux phénomènes et êtres.* » Le philosophe néerlandais Spinoza alla encore plus loin en affirmant audacieusement que tout ce qui est possible existe vraiment, comme le fit 300 ans plus tard son collègue américain David Lewis, auquel nous reviendrons plus tard.

Au XVIII^e siècle, le philosophe et jésuite italo-croate Ruđer Bošković spéculait sur des mondes découplés de notre Univers par causalité : « *Dans le même espace, il pourrait y avoir un grand nombre d'Univers, séparés de manière à être parfaitement indépendants les uns des autres et à ne jamais s'apercevoir de l'existence d'un autre Univers.* » Cette phrase aurait également pu être prononcée sur notre scène new-yorkaise, le scénario de Bošković ressemble

au multivers de la théorie des cordes, que nous présentons en détail dans le chapitre 9. Presque en même temps que Bošković, Emmanuel Kant envisagea également l'existence d'autres Univers, avant, après et à côté du nôtre. Dans sa *Critique de la raison pure*, il tenta de découvrir par une pure réflexion sur notre concept de temps, si l'Univers avait un début (sa conclusion désabusée fut qu'on se perdait là dans des contradictions).

Presque tout ce qui tourne autour du multivers et qui semble aujourd'hui si révolutionnaire a déjà été pensé. Lorsque l'Américain Edgard Allan Poe, plus célèbre comme poète et auteur de nouvelles, affirma le 3 février 1848 dans une conférence « Sur la cosmologie de l'Univers » à la New York Society Library que l'Univers proviendrait d'un point dans lequel il s'effondrerait à nouveau et serait finalement recréé, il ne pressentait certainement pas qu'il avait ainsi anticipé sur les théories d'un multivers sériel, que certains physiciens en quête de la théorie du Tout développeraient 150 ans plus tard.

Lorsque le père de Mark Everett, Hugh, établit en 1957 la thèse hardie selon laquelle le monde se diviserait continuellement en mondes parallèles, l'idée datait déjà de 16 ans : l'écrivain argentin Jorge Luis Borges l'avait présentée dans une nouvelle, sans arrière-pensée concernant la physique.

Le multivers quantique d'Everett avait fait une autre grande apparition littéraire, à nouveau sans être cité par son nom, dans le roman *Feu pâle* (1962) de l'écrivain russo-américain Vladimir Nabokov. Il y crée un « jeu des mondes » avec un couple du nom de Shade (*ombre* en anglais), qui meurt et survit simultanément dans des mondes différents qui s'influencent mutuellement. Toute une série d'œuvres de Nabokov se joue dans des mondes-miroirs déformés : son roman *Ada ou l'Ardeur* (1969) raconte par exemple l'histoire d'un amour incestueux qui se déroule sur « Antiterre ».

Le multivers apparaît également dans la littérature contemporaine. L'auteur américain Thomas Pynchon s'inspira de la théorie des cordes pour concevoir un multivers d'une complexité déconcertante dans lequel se déroule son opus de mille pages *Contre-jour* (2006). Les personnages de Pynchon font des allers-retours entre les mondes comme entre des continents, d'antiterre à antiterre comme de Cambridge au Colorado. Les lois de la physique varient d'un monde à l'autre, comme dans le multivers de la théorie des cordes. « *Ce monde, que vous tenez pour "le" monde, va sombrer et s'enfoncer en enfer* », écrit Pynchon. Il expliqua un jour son roman ainsi : « *Si ce n'est pas le monde, alors c'est ce que pourrait être le monde avec un ou deux petits changements.* » Contrairement aux théoriciens des cordes, Pynchon trouve cependant que nous sommes nés dans un monde particulièrement ennuyeux et non dans un monde particulièrement captivant.

Dans le roman *Gloire* (2009) de Daniel Kehlmann, l'idée de multivers jaillit brièvement à un seul moment : « *Il ressentit un picotement électrique, il avait l'impression qu'un double de lui, son remplaçant dans un autre Univers, allait au même moment dans un restaurant chic à la rencontre d'une femme grande et belle qui suivait ses paroles avec attention, riait quand il faisait un trait d'humour et*

dont la main, comme par erreur, touchait sans cesse la sienne. » S'apercevoir soi-même à travers une fenêtre dans un autre monde, cela ne nous arrive normalement qu'en rêve. Mais désormais, la physique moderne nous y encourage : dans le multivers, tous les rêves deviennent réalité et nous déjeunons tous tous les jours avec une belle femme dont nous venons de faire la connaissance.

Il semble que les scientifiques soient les derniers à s'être aperçus que notre monde n'est pas un exemplaire unique. Les amateurs de science-fiction s'étonnent en tout cas que le multivers ait pu échapper si longtemps aux scientifiques. Depuis que Lewis Carroll a fait voyager son Alice au pays des merveilles, les concepts des mondes multiples dans la science-fiction et la fantasy ont augmenté dans une proportion considérable. Les protagonistes sont rompus aux voyages entre les mondes, livrent ici leurs batailles, créent là de nouveaux Univers de leur invention et, lorsqu'ils ont besoin de quelque chose qu'ils ne trouvent pas dans leur propre monde, ils l'importent d'un autre. Le maître parmi les auteurs de multivers est l'Anglais Michael Moorcock. Sa trilogie *Le Champion éternel* se déroule dans un immense multivers qui contient d'innombrables Terres de tailles et d'anciennetés différentes aux différentes préhistoires. Le héros est parfaitement adapté à son habitat, sa personnalité multiple convient aux très nombreuses dimensions de l'espace.

Et maintenant, les scientifiques affirment que ce n'est peut-être pas pure invention. Que ces autres mondes sont peut-être réels. Aussi réels que la barbe de Mark Everett. À New York, quelques spectateurs ont visiblement du mal à se faire à cette idée. « *C'est tout à fait plausible* », dit un homme, « *mais est-ce encore de la science ? N'est-ce pas plutôt une religion ? Ou bien n'est-ce qu'une intuition ?* » — « *La théorie du père de Mark est d'abord une équation* », répond Max Tegmark, « *dont il résulte que mon téléphone portable fonctionne et qu'il existe des mondes parallèles. Il en est ainsi des théories. Soit on les accepte avec toutes leurs conséquences, soit on ne les accepte pas du tout. Alors, il faut pouvoir proposer une autre théorie. Et pour l'instant personne n'en a proposé de meilleure.* »

MULTI-, PLURI-, TOTI- OU MÉGAVERS ?

La langue elle-même s'oppose à ce qu'il puisse y avoir plus d'un Univers. Dans le dictionnaire allemand Wahrig, le terme « Universum » n'a pas de pluriel, mais comporte seulement l'abréviation « unz. » pour unzählbar (indénombrable). Car en fait pourquoi compter ? Universum, c'est le vaste Univers, comment pourrait-il y en avoir plusieurs ? « *Nous autres hommes aimons faire l'autruche* », explique Max Tegmark, « *nous mettons la tête dans le sable et faisons comme si tout ce que nous ne pouvons pas voir n'existait pas. Pendant longtemps, les hommes crurent que le monde était tout ce qu'ils pouvaient*

atteindre à pied. Puis ils prirent peur en constatant que la Terre est immense. » Aujourd'hui, certains hommes pensent, y compris des cosmologistes, que le monde est tout ce qu'on peut voir, c'est-à-dire une sphère ayant Terre pour centre et un rayon de 45 milliards d'années-lumière, distance parcourue par la lumière depuis le Big Bang (expansion de l'espace comprise). Il est possible que le monde s'arrête soudain derrière cet horizon. Mais l'hypothèse naturelle est de penser qu'il continue encore un peu. Pour les visions du monde, la devise du *« plus c'est petit, mieux c'est »* ne vaut pas.

Les spectateurs new-yorkais tâtonnent prudemment au-delà de l'horizon. *« Dans ces Univers parallèles »,* se demande une femme, *« est-ce qu'on peut communiquer avec l'esprit des personnes décédées ? »* — *« Nos défunts continuent à vivre dans d'autres Univers »,* répond Michio Kaku, *« de leur point de vue, notre Univers, dans lequel ils sont morts, leur semble totalement absurde. Ils pensent que leur Univers est le bon et le nôtre, le mauvais. »* Silence dans la salle. Cela signifie-t-il alors que nous, qui sommes en vie ici, sommes déjà morts dans d'autres Univers ? *« Beaucoup de gens ont du mal à accepter la théorie de mon père parce qu'elle implique qu'une foule de choses effrayantes a lieu quelque part »,* dit Mark Everett, *« mais je suis optimiste et je pense aux choses merveilleuses qui ont également lieu ».*

Les scientifiques n'ont pas moins de difficultés que les profanes avec le multivers, bien au contraire. Pendant longtemps, un seul Univers était déjà trop pour eux. *« Que personne ne me parle de l'Univers ! »,* aurait dit dans les années 1930 le prix Nobel Ernest Rutherford à ses collaborateurs. La cosmologie est restée longtemps le terrain de jeux des philosophes. Elle ne fut prise au sérieux en tant que science qu'à partir du moment où Albert Einstein put appréhender l'Univers comme un tout avec sa théorie de la Relativité. Mais l'avertissement de Rutherford n'a pas encore disparu. De nombreux scientifiques continuent à croire qu'il est certes possible de faire des hypothèses sur l'Univers, mais qu'il est difficile de faire des recherches dans ce domaine. Sans parler d'autres Univers.

Jusqu'à il y a quelques années, la cosmologie, la plus ancienne de toutes les sciences, était une discipline extrêmement sage. Sa vision du monde était rigoureusement réfléchie : le cosmos a commencé par un grand éclatement, dont la violence continue aujourd'hui éternellement à le disperser. Tout ce qui le constitue, homme compris, est le produit de minuscules soubresauts quantiques qui ont eu lieu au tout début, lorsque toute la matière était encore contenue dans un noyau atomique. Les cosmologistes soignèrent leur modèle consensuel comme un jardinier anglais ses rosiers. Ils ajustèrent ici une constante, ajoutèrent là quelques particules. Les occasions de se quereller se firent rares. Aujourd'hui, il y a en revanche matière à discussion. Un nombre croissant de cosmologistes reconnaît que les particularités de notre Univers ne peuvent s'expliquer par un Univers unique. C'est comme avec les êtres vivants : là où il y en a un, il doit y en avoir un autre à proximité. Les Univers sont issus d'autres Univers, ils ont des frères et sœurs

et des descendants. Certaines de leurs propriétés sont le fruit du hasard, d'autres sont essentielles.

Avec le multivers, la cosmologie se hasarde à nouveau sur le même terrain que les Présocratiques et les penseurs de la Renaissance. Elle quitte le terrain de la vérifiabilité expérimentale, devient spéculative et controversée. En a-t-elle le droit ? Non, disent ses détracteurs, pas si elle veut être prise au sérieux en tant que science. Pourquoi pas ? demandent ses défenseurs, notre horizon visible doit-il également être l'horizon de notre pensée ?

La science se rapproche avec le multivers de la frontière avec l'imagination, comme l'indique l'histoire mouvementée du mot « multivers ». Ce terme et sa signification ont été inventés plusieurs fois. Le mot a été imprimé pour la première fois en 1895. Le psychologue américain William James écrivit alors dans son livre *The Will to Believe (La Volonté de croire)* : « *Visible nature is all plasticity and indifference – a moral multiverse , as one might call it , not a moral Univers* » (c'est-à-dire : « La nature visible est toute plasticité et indifférence : un multivers moral, si l'on veut, et non un Univers moral »). Cependant, James ne pensait pas à une diversité de mondes, mais à un pluralisme moral au sein d'un monde unique.

Le terme « multivers » se rapprocha de sa signification actuelle grâce à l'astronome amateur écossais Andy Nimmo en décembre 1960. Nimmo, à l'époque vice-président de la branche écossaise de la société britannique interplanétaire, préparait une conférence sur la théorie de Hugh Everett. « *J'avais besoin d'un pluriel, mais ne voulait pas dire "mondes" parce que cela signifie planètes dans nos cercles* », se souvient Nimmo, « *j'ai alors inventé le mot "multivers" et l'ai défini comme étant "un Univers apparent, existant en un grand nombre d'exemplaires formant l'ensemble de l'Univers".* »

Nimmo ne prenait donc pas du tout les termes « Univers » et « multivers » dans le sens que nous utilisons aujourd'hui. On raconte que le « multivers » se serait infiltré un jour dans le milieu de la science-fiction anglaise. L'auteur Michael Moorcock le saisit au vol, lui attribua son sens actuel et le fit connaître au public. Dans les années 1990, le physicien quantique David Deutsch de l'Université d'Oxford lisait Moorcock. Il se mit alors à employer ce terme pour parler de la théorie de Hugh Everett, pour parler de ce que Nimmo avait appelé « Univers ». Le multivers avait fait son apparition dans la science et les chercheurs lui donnèrent vie.

Les théories du multivers provenaient désormais des branches de la physique les plus variées : de la physique quantique, de la cosmologie, de la physique des particules et de la théorie des cordes. Lorsqu'un physicien n'était pas satisfait, il forgeait un nouveau terme. Le théoricien des cordes, Leonard Susskind parle de « *mégavers* », le cosmologiste Lawrence Krauss de « *métavers* », son collègue Don Page d'« *holocosmos* », certains philosophes de « *plurivers* ». Les physiciens quantiques désignent par le terme « *omnivers* » l'ensemble de toutes les branches du monde (*Omniversum est*, pour les amateurs de jazz, le nom d'un grand orchestre américain). « *Ultraversum* » est

le nom d'une série de bandes dessinées des années 1990, mais on rencontre désormais le terme d'ultravers dans le jargon des physiciens.

LE MULTIVERS : UN JEU VIDÉO

Depuis, tant de concepts de multivers cohabitent que même les experts sont un peu perdus. Max Tegmark a tenté de mettre de l'ordre dans ce fouillis des mondes : « *Le père de Mark a découvert la première sorte d'Univers parallèles* », expliqua-t-il à New York, « *mais aujourd'hui les chercheurs discutent d'au moins trois autres sortes.* » Tegmark se représente les concepts de multivers par quatre niveaux, similaires aux niveaux de difficulté d'un jeu vidéo (*level*).

Au niveau I, nous nous promenons à travers le multivers pour débutants, que nous avons décrit au chapitre 4 : l'Univers continue au-delà de l'horizon comme de ce côté, jusqu'à l'infini. Les lois de la physique sont partout les mêmes. Mais tout ce qu'elles permettent se passe vraiment. Là-bas, tout existe dans toutes les variations imaginables : le Soleil, la Terre et les hommes. L'infini rend cela possible ! C'est la diversité des mondes qu'enseignaient également les philosophes antiques tels Démocrite et Lucrèce et pour laquelle le philosophe de la Renaissance Giordano Bruno eut tant d'ennuis avec l'Église.

Les Univers du niveau II sont également encore unis dans un espace cohérent. Depuis la Terre, on peut pointer du doigt dans leur direction. Ils naissent et disparaissent comme des bulles dans un bain moussant, ils sont innombrables. Certains contiennent des galaxies, d'autres sont vides, d'autres encore éclatent peu après leur naissance. Mais maintenant, les lois de la nature varient d'un lieu à l'autre. « *Dans le niveau II, les élèves des autres Univers apprennent des choses différentes non seulement en cours d'histoire, mais également dans les cours de physique* », explique Max Tegmark. Les règles du jeu de ce niveau sont expliquées au chapitre 9.

Au niveau III règne la théorie de Hugh Everett. Cela devient de plus en plus abstrait. Les mondes ne se trouvent plus côte à côte dans un espace physique, mais dans un « *espace de configuration* » mathématique. On peut se représenter le multivers niveau III comme un arbre qui grandit : les évolutions du monde se ramifient de plus en plus. Les différentes branches s'influencent mutuellement selon les règles de la mécanique quantique, avant de croître de manière complètement indépendante (détails au chapitre 10).

Le niveau IV est destiné au noyau dur des fans de multivers. Aucune loi de la nature n'y est plus fixe, il n'existe pas de théorie physique globale. Tout ce qui n'est pas contredit par la logique existe vraiment (plus de détails au chapitre 12). Certains Univers sont constitués d'une saucisse au curry qui parle et du chiffre sept.

Les niveaux dans le bâtiment des multivers de Tegmark se construisent

vraiment les uns sur les autres. Les multivers des niveaux inférieurs constituent une partie des mondes des niveaux supérieurs. Par exemple, le multivers des bulles du niveau II ne constitue qu'un monde unique dans le niveau III. Il serait également possible que les différents niveaux du multivers soient emboîtés les uns dans les autres comme des poupées russes : des mondes dans des mondes dans des mondes. Toutefois, on ne sait pas combien d'imbrications existent. « *Le multivers du niveau I n'est pas vraiment controversé* », affirme Tegmark. Le scénario de l'inflation éternelle (niveau II) et la version d'Everett de la physique quantique (niveau III) ont certes de plus en plus de disciples, mais sont encore loin d'être établis parmi les physiciens, et le niveau IV ne le sera jamais. « *La question n'est pas de savoir si le multivers existe* », explique Tegmark, « *mais combien de niveaux il comprend.* »

Peut-être que l'affaire est encore plus compliquée. Car Tegmark n'a pas casé toutes les théories actuellement discutées dans les quatre étages de son bâtiment de multivers.

Qui dit par exemple que les Univers peuvent seulement se trouver les uns à côté des autres dans l'espace ? Ils pourraient également se suivre dans le temps. De telles théories ont été conçues par l'Américain Paul Steinhardt de l'Université de Princeton et l'Allemand Martin Bojowald de l'Université d'État de Pennsylvanie, tous deux en quête d'une théorie globale des forces de la nature. Ce sont des scénarios étranges dans lesquels le temps se déroule soudain à l'envers ou bien dans lesquels notre monde heurte tous les quelques billions d'années avec une si grande violence un autre monde qu'il est entièrement détruit pour renaître ensuite de ses ruines tel le phénix qui renaît de ses cendres : une succession continue de naissances et de disparitions de mondes. De tels scénarios ressemblent à des versions formelles de théories hindoues sur l'éternel retour ou à des interprétations cabalistiques de l'histoire de la création de l'Ancien Testament.

Où alors les nouveaux Univers naissent tout près de nous, mais nous demeurent invisibles, cachés à l'intérieur de trous noirs ? C'est ce que suppose le physicien des particules américain James Bjorken. Peut-être, imagine-t-il, que notre Univers natal est issu d'un trou noir situé dans un autre Univers ? Lee Smolin du Perimeter Institute, au Canada défend une théorie semblable. Dans son multivers, les Univers-filles héritent des lois physiques de leur Univers mère, mais avec de petites mutations. À long terme, les Univers se développent selon l'évolution darwinienne la plus précise : les Univers aptes à la reproduction, c'est-à-dire ceux où naissent beaucoup de trous noirs, s'imposent sur les Univers moins fertiles. Dans la communauté scientifique, les théories comme celles de Steinhardt et Smolin ont un statut marginal, elles ne sont pas aussi abondamment discutées que la théorie de l'inflation et la physique quantique à la Everett. Mais elles conviennent aussi à la grande rencontre des multivers qui a lieu dans le monde scientifique. Quelles sortes de mondes sortiront vainqueurs de la

discussion, cela reste à voir. Mais il n'est plus question d'éluder complètement le multivers.

Ce soir à New York, l'atmosphère se détend. L'idée des mondes multiples plaît aux spectateurs. L'un d'entre eux pose encore une question à Mark Everett : *« Dans un Univers parallèle, vous avez un père affectueux, vous êtes devenu scientifique et non pas musicien et vous nous expliquez maintenant le multivers. Ne serait-ce pas votre véritable vocation ? »* — « Wouah », répond Everett, *« ce serait fantastique d'être un génie de la physique. Mais il paraît que les groupies ne sont pas terribles. »*

8

La vie des autres

Le fait se produisit en février 1969, au nord de Boston, à Cambridge. [...] Je m'étais allongé sur un banc face au fleuve Charles. [...] J'eus soudain l'impression [...] d'avoir déjà vécu ce moment. À l'autre extrémité de mon banc, quelqu'un s'était assis. J'aurais préféré être seul, mais je ne voulus pas me lever tout de suite, pour ne pas paraître discourtois. L'autre s'était mis à siffler. C'est alors que m'assaillit la première des nombreuses appréhensions de cette matinée. Ce qu'il sifflait, enfin, ce qu'il essayait de siffler (je n'ai jamais eu beaucoup d'oreille) était l'air créole de La Tapera, d'Elías Regules. Cet air populaire me ramena à un patio aujourd'hui disparu, et au souvenir d'Álvaro Melián Lafinur, qui est mort depuis si longtemps. Puis vinrent les paroles. [...] La voix n'était pas celle d'Álvaro, mais elle cherchait à ressembler à celle d'Álvaro. Je la reconnus avec horreur.

Jorge Luis Borges, *L'autre*, 1975 (trad. Françoise Rosset)

Imaginez : vous avez une nouvelle connexion pour votre télévision. Le vendeur vous a promis un nombre infini de chaînes. Vous branchez le récepteur et zappez avec enthousiasme à travers la diversité apparemment inépuisable des programmes, avant de constater avec déception qu'il y a énormément de répétitions. Vous aurait-on arnaqué ? Non, mais il ne peut en être autrement ! Votre écran ne possède en effet qu'un nombre fini de pixels. C'est pourquoi il existe un nombre certes inconcevable, mais non infini de possibilités de les assembler en une image et ces images en un film. Un jour ou l'autre, toutes les émissions imaginables dans la limite d'une certaine durée auront été diffusées. Ce qui passe est déjà passé et repassera encore un nombre incalculable de fois. Un nombre infini de programmes est trop grand pour un téléviseur fini.

Il en va de même avec les multivers. Notre Univers natal est immense, mais fini. Derrière l'horizon, il y a d'autres Univers, et bien d'autres encore derrière ceux-ci. Et en principe, les Univers fonctionnent comme des émissions de télé. Espace, temps, énergie et matière sont comme pixélisés. Donc, si le multivers est constitué d'un nombre infini de ces mondes parallèles finis, les répétitions sont inévitables. Comme à la télé, avec une différence importante : devant la télé, vous n'êtes qu'un simple spectateur, dans le monde réel, vous participez à l'action et donc à la répétition. Vous-même avez déjà existé et avez déjà fait tout ce que vous faites. Ainsi, ou bien

de manière similaire.

Car dans les étendues du multivers existent des mondes qui ressemblent au nôtre à l'atome près, avec des copies exactes de notre Voie lactée, de notre Système solaire, de notre Terre et de chaque homme. Dans certains Univers, vos doubles imitent chacun de vos gestes dans le moindre détail. D'autres Univers divergent : votre double se lève alors que vous restez assis. Ou il tombe de sa chaise.

Dans le multivers, chaque histoire imaginable suit son cours. Selon le point de vue, le multivers est le plus passionnant ou le plus ennuyeux de tous les mondes. D'une part, il offre tout ce qui peut se passer. D'autre part, il n'offre rien de nouveau, seulement la vie en une boucle sans fin. Le réalisateur du film *Cours, Lola, cours* n'a bien sûr pas pensé à la cosmologie en écrivant son scénario. Mais en fait, il a tourné un film sur le multivers. Il raconte trois destins possible d'une jeune femme : trois fois les mêmes 20 minutes de sa vie, qui, à cause d'une brève bousculade dans un escalier, prennent chacune un cours complètement différent. Le film raconte les histoires les unes après les autres. Dans la première variante, Lola se fait abattre à la fin, dans la suivante elle est écrasée par une ambulance et la troisième finit bien. Dans le multivers, toutes ces histoires sont aussi réelles les unes que les autres, mais à chacune est réservé son propre monde.

Tout a déjà existé, tout a déjà été fait : cette idée elle-même réapparaît régulièrement dans l'histoire de la culture, que ce soit dans un scénario ou un roman, sous la forme d'un mythe ou d'une fable, dans la religion ou la philosophie.

Au XIX^e siècle, Friedrich Nietzsche s'imaginait le cosmos comme un éternel retour. Le grand penseur non-conformiste allemand s'était étroitement familiarisé avec la science de son temps, mais l'idée d'un cosmos cyclique lui vint plutôt sous la forme d'une révélation que d'un savoir, un midi d'août 1881 dans la solitude d'une forêt de montagne suisse, « à 6 000 pieds par-delà l'homme et le temps », comme il devrait s'en souvenir plus tard avec le pathos nietzschéen typique. Il fut alors envahi par cette pensée : « *Le moment où j'ai conçu l'éternel Retour est immortel. Et, à cause de ce moment, je supporte l'éternel Retour.* »

Dorénavant, Nietzsche pensa que le cosmos traversait toujours cycliquement la même histoire parce qu'il ne possédait qu'un nombre fini d'états. Il s'imaginait le cosmos poussé par une « *force Universelle* », dont les états et les développements possibles sont « *déterminés et finis* », tout comme les programmes télévisés possibles sur l'écran limité de notre salon. Et parce que le temps est infini, tout se répète un jour. Quoi que nous fassions, nous l'avons déjà fait un nombre de fois infini et le referons toujours à nouveau. Nous agissons pour l'éternité. Il est donc d'autant plus important de bien agir, exhortait Nietzsche.

Dans l'imagination des auteurs de science-fiction, l'idée de mondes doubles prit une forme concrète. Et tourna parfois au cauchemar. Dans sa nouvelle

All the Myriad Ways, l'Américain Larry Niven décrit comment le fait de savoir que tout ce qui est possible se passe réellement fait sombrer l'humanité dans un chaos moral. À quoi bon être encore honnête alors que mon double d'à côté se comporte mal ? Niven décrit comment les hommes commencent à voler et à tuer. Le message de Nietzsche ne les a visiblement pas atteints.

LE COSMOS PHOTOCOPIEUR

L'imagination n'a besoin ni de formules mathématiques ni de télescopes pour s'épanouir. Rien d'étonnant donc à ce que les mondes multiples aient été imaginés bien avant que les scientifiques ne les prennent au sérieux. Depuis quelques années, on constate une évolution étonnante en physique, dans la branche de la cosmologie : les théories sur le cosmos de scientifiques sérieux semblent soudain encore plus incroyables que les scénarios hollywoodiens ou les romans de Niven et d'autres auteurs de science-fiction.

Ceux qui ont par exemple assisté à la rencontre des deux exilés russes Alexander Vilenkin et Andreï Linde à l'automne 2007 se sont demandé s'ils avaient vraiment devant les yeux les plus importants cosmologistes de notre époque. Lieu de la rencontre : la grange dîmière de Wurtzbourg. Au Moyen-Âge, les paysans livraient ici leurs impôts en nature. Aujourd'hui, la grange sert de salle de congrès. Une vingtaine de scientifiques du monde entier sont venus pour débattre du début de l'Univers. Pendant la pause, ils discutent de la matière noire et de l'énergie noire, des constantes de la physique et des fluctuations quantiques. Vilenkin et Linde sont assis à une table en bois et boivent du jus d'orange.

Alexander Vilenkin : L'entretien que nous menons actuellement a lieu exactement ainsi avec les mêmes personnes un nombre de fois infini dans d'autres Univers.

Max Rauner : Vous plaisantez.

Vilenkin : Chaque histoire possible a également lieu quelque part. Il existe des copies de chaque être humain.

Rauner : Des Univers doubles avec chaque atome au même endroit que dans le nôtre ?

Vilenkin : Des copies exactes de notre monde. Bien sûr, il existe encore davantage de régions où des choses tout à fait différentes se passent.

Rauner : Où mon équipe préférée remporte la Coupe de la Ligue au lieu de perdre ?

Vilenkin : Tout à fait.

Andrei Linde : Où cet entretien ne sera jamais imprimé.

Rauner : Quel est le sens de la vie dans un tel monde ?

Linde : On vit sa propre vie, même si des copies font la même chose. Pourquoi devrait-on se faire du souci ?

Vilenkin : Honnêtement, je trouve ça déprimant. Ce qui me déprime le plus c'est la perte de l'unicité. Peu importe que notre civilisation soit bonne ou mauvaise, j'ai toujours pensé que nous étions quelque chose de particulier, digne d'être préservé comme un tour de force. Mais maintenant il semble qu'il existe une infinité d'autres tours de force.

Linde : Alexander, il y aurait certes plusieurs endroits où Kandinsky ne peindrait pas ses magnifiques tableaux, mais il y aurait en également beaucoup où il les peindrait. Cela me donne de l'espoir.

Vilenkin : Certaines personnes apprécient l'idée du multivers, car il existe donc des mondes meilleurs que le nôtre. Les réactions sont très différentes.

Rauner : Recevez-vous des lettres de personnes en colère ?

Vilenkin : Non, je reçois des invitations à pratiquer le bouddhisme.

Vilenkin et Linde ne sont pas des hurluberlus. Ils publient dans des revues

spécialisées réputées, enseignent et font de la recherche dans des Universités, ils donnent des conférences lors de grands congrès. Et ils ne sont pas seuls.

« *Tout dans notre Univers, y compris vous et moi, chaque atome et chaque galaxie, a un homologue dans d'autres Univers* », pense David Deutsch, un physicien excentrique et génial de l'Université d'Oxford, qui s'est fait connaître par sa théorie sur l'ordinateur quantique. Max Tegmark affirme : « *Dans un Univers infini, on doit seulement aller assez loin pour trouver une deuxième Terre avec une copie de vous.* » Même sir Martin Rees prend le scénario au sérieux. « *Dans un ensemble infini d'Univers, l'existence d'un petit nombre d'excellents Univers dotés des conditions particulières nécessaires à la formation de la vie serait à peine surprenante* », écrit-il dans son livre *Le mystère de notre Univers*.

Dès 1975, le physicien et antimilitariste russe Andreï Sakharov avait décrit dans son discours de réception du prix Nobel un Univers qui rappelle le cosmos cyclique de Nietzsche. Comme les Soviétiques lui avaient interdit de sortir du territoire, c'est sa femme, Elena Bonner, qui reçut le prix Nobel pour lui. L'État l'avait autorisé à sortir du territoire à l'été 1975, afin de subir une opération des yeux en Italie. Elle resta quelques mois à l'Ouest et se rendit à la fin de l'année en Norvège. Le 11 décembre, elle lut dans l'amphithéâtre de l'Université d'Oslo le discours de son mari. Il était question de paix et de droits de l'homme, de désarmement et de Guerre froide. Certains passages furent cités le lendemain par des journaux du monde entier. Les rédactions abrégèrent certes la fin du discours, mais elle a survécu à la Guerre froide : « *Plusieurs civilisations pourraient exister dans l'espace infini, parmi lesquelles des sociétés qui pourraient être plus sages et plus « performantes » que la nôtre. Je soutiens l'hypothèse cosmologique selon laquelle le développement de l'Univers se répète un nombre infini de fois sur les pages « suivantes » ou « précédentes » du livre de l'Univers. Néanmoins, nous ne devons pas minimiser nos efforts sacrés en ce monde, où comme de faibles lueurs dans l'obscurité, nous avons surgi pour un instant du néant de l'inconscience obscure à l'existence matérielle. Nous devons respecter les exigences de la raison et créer une vie qui soit digne de nous-mêmes et des buts que nous percevons à peine.* »

Sakharov a non seulement anticipé l'image du multivers (dans son modèle, les civilisations existent les unes après les autres temporellement et non parallèlement). Il a également formulé une éthique pour la vie dans le multivers.

Sakharov n'a pas donné aux auditeurs la preuve de l'existence d'autres civilisations. Mais à l'époque, cela ne sembla déranger personne. Dans les années 1970, la cosmologie était plus une affaire philosophique, plutôt un sentiment qu'une science, elle manquait de données d'observations. Certes, les satellites américains VELA tournaient déjà autour de la Terre à

100 000 kilomètres de hauteur et surveillaient l'application du Traité d'interdiction partielle des essais nucléaires. Ils recherchaient des preuves d'essais nucléaires secrets, et donc des rayons gamma qui en seraient issus. Ils enregistrèrent ainsi, fortuitement, des sursauts gamma provenant de l'Univers, envoyés par des explosions d'étoiles dans des galaxies éloignées. Mais les données restèrent secrètes. Il y a 30 ans, la théorie de l'origine du cosmos n'avait pas encore beaucoup progressé. La théorie du Big Bang existait, mais elle comportait encore des défauts.

Aujourd'hui, des douzaines de satellites de recherche surveillent l'Univers sur toutes les fréquences. Le télescope Hubble fournit des images du bord de l'Univers, de galaxies qui ont envoyé leur lumière juste après le Big Bang. Le satellite Planck mesure le rayonnement micro-ondes qui remplit l'ensemble du cosmos et frappe la Terre depuis toutes les directions : l'écho du Big Bang. La cosmologie est devenue une science de précision, ses théories peuvent être vérifiées grâce à des observations.

Les théoriciens ne sont pas restés inactifs. Ils ont développé le modèle du Big Bang autour de la théorie de l'inflation selon laquelle l'Univers s'est dilaté peu après le Big Bang à une vitesse fulgurante. Théorie et observation s'intègrent aujourd'hui en une image étonnamment cohérente. « Lorsque j'étais étudiant, nous nous demandions si l'Univers avait 10 ou 20 milliards d'années », se souvient Max Tegmark, « aujourd'hui, il s'agit de savoir s'il a 13,7 ou 13,8 milliards d'années. » Tegmark n'est pourtant pas si vieux : il est né en 1967.

Nous en savons donc plus sur l'histoire et la structure de l'Univers que jamais auparavant. Mais pour l'instant, aucune trace de nos doubles. Pourquoi n'entendons-nous pas parler d'eux ? Pourquoi ne les voyons-nous pas avec le télescope Hubble ou ne recevons-nous pas leurs signaux avec les radiotélescopes ? Et pourquoi des professeurs chevronnés sont-ils pourtant si absolument convaincus de leur existence ?

LE PARADOXE DU SINGE SAVANT

Les scientifiques qui croient aux doubles avancent le plus souvent deux arguments : la théorie des probabilités et la physique quantique. Le multivers, selon l'argument de la théorie des probabilités, est si immense que tout ce qui a une probabilité supérieure à zéro doit forcément advenir quelque part, y compris nos doubles. C'est comme l'histoire du singe immortel qui tape au hasard sur les touches d'une machine à écrire, célèbre expérience de pensée qu'écrivains, philosophes et mathématiciens racontent depuis des siècles dans différentes variantes. Une version appréciée, inspirée d'un scénario du mathématicien Émile Borel de 1909 est la suivante : si un singe disposait d'un temps infini et tapait complètement au hasard sur les touches d'une machine à écrire, il ne produirait pas seulement plusieurs

milliards de lignes incompréhensibles d'un fouillis de lettres, mais, un jour il est presque certain qu'il produirait également *Hamlet* de Shakespeare sans une seule faute de frappe.

Le singe taperait également un jour par hasard *Harry Potter*, *Faust I et II*, *Perry Rhodan*, la Bible et le Coran ainsi que le théorème de Fermat, tout comme le reste de la littérature mondiale, les thèses et les livres de cuisine qui n'ont même pas encore été écrits par des hommes. Tout ceci est très invraisemblable et le singe devrait rester devant sa machine à écrire beaucoup plus longtemps que l'âge de l'Univers, 14 milliards d'années. La probabilité selon laquelle il tape les vingt premières lettres de *Hamlet* est déjà aussi faible que la probabilité que quelqu'un ait les six bons numéros à quatre tirages successifs du loto. La probabilité que le singe tape *Hamlet* en entier est encore infiniment plus petite, mais pas nulle, précisément parce que le singe dispose d'un temps infini. Avec cette expérience de pensée, on a tenté de se représenter la puissance de l'infini. Les mathématiciens l'ont reprise sous le nom de « *paradoxe du singe savant* ».

De vrais singes ne conviennent toutefois pas à cette expérience. Des étudiants britanniques en art en ont fourni la preuve en mettant un clavier d'ordinateur dans l'enclos de six macaques du zoo du Devon pendant un mois. À la fin, les singes n'avaient produit que cinq pages de littérature, essentiellement constituées de la lettre S. Le mâle dominant avait par ailleurs frappé le clavier avec une pierre et le reste de la horde avait uriné sans scrupule sur l'appareil.

Cependant, dans le paradoxe du singe savant, il ne s'agit pas de singes, mais d'un principe qui signifie que l'on rencontre chaque séquence de lettres (finie) dans une suite aléatoire infinie. Ce qui commence par « odixc z wnxclfdghasl pqqmybn » se termine un jour par « Être ou ne pas être ». Le paradoxe du singe savant appliqué à la cosmologie implique qu'un événement avec une probabilité non nulle se produit réellement dans un monde infini.

Pourquoi ce monde produit-il des Univers jumeaux ? Ne pourrait-il pas également exister dans un multivers infini une infinité de sous-Univers différents, tous dissemblables, sans répétition ? Non, disent les cosmologistes comme Alexander Vilenkin, la physique quantique l'interdit. Dans chaque extrait de l'espace infini, il n'existe qu'une quantité finie de particules élémentaires comme les électrons et les quarks (dont sont constitués les atomes). Et selon la physique quantique, il n'existe qu'un nombre fini de possibilités d'agencer les particules élémentaires dans l'espace. Chaque sous-Univers est donc semblable à un échiquier : les particules élémentaires ne peuvent occuper que les cases et non les lignes qui les séparent. Si nous copions notre Univers électron pour électron, quark pour quark, atome pour atome ailleurs dans le multivers, nous ne disposerions que d'un nombre limité de possibilités d'agencer les atomes.

La photocopieuse d'Univers est donc prête. Certes, aucun être supérieur ne

copie notre Univers ailleurs atome pour atome. Mais il n'en a pas besoin. Cette tâche revient au hasard et à l'infini. Le hasard répartit la matière après le Big Bang dans l'espace. L'infini veille aux répétitions : en conséquence, ce n'est qu'une question de distance avant que nous rencontrions dans le multivers, pour des raisons statistiques, des sphères imaginées qui ressemblent à la nôtre, doubles de la Terre et des hommes inclus. Il faut seulement voyager assez loin par la pensée. Tout comme le singe doit seulement taper assez longtemps pour produire un jour les cinq actes de *Hamlet*. Tout comme on doit seulement zapper assez longtemps pour rencontrer une répétition sur des chaînes télévisées en nombre infini.

EST-CE QUE TOUS LES DOUBLES PENSENT LA MÊME CHOSE ?

Admettons qu'il existe des Univers jumeaux dans lesquels vivent des doubles physiques de nous-mêmes. Il arrive à certains des choses très différentes, à d'autres exactement les mêmes. Mais pensent-ils, croient-ils et ressentent-ils absolument comme nous, simplement parce qu'ils sont faits exactement comme nous à l'atome près et ont donc les mêmes états cérébraux ? Des scientifiques penchent pour l'hypothèse selon laquelle la conscience ne serait rien d'autre qu'un modèle d'activité neuronale. Mais peut-être s'en tirent-ils un peu trop facilement.

Deux êtres physiquement identiques ont-ils toujours la même conscience ? Peut-on seulement comparer la conscience d'un homme à celle d'un autre ? Essayons. Appelons notre Univers U et copions-le mentalement. La copie nommée V est un double physiquement exact de U. Cela signifie que dans V, une Terre jumelle tourne autour d'un Soleil jumeau et que sur celle-ci se trouve un double parfait de vous-même au-dessus d'un livre, qui ressemble à celui-ci à la virgule près. Les deux Univers sont régis par les mêmes lois de la nature, ils se développent donc de manière exactement synchronisée. Si vous levez maintenant les yeux pensivement de votre livre, alors votre double lève également la tête. Si demain vous allez au cinéma, il verra le même film.

Mais vit-il tout cela exactement comme vous ? Les philosophes demanderaient : ressent-il les mêmes effets subjectifs (dans leur jargon : qualia) que vous ? La réponse est très controversée.

Les réductionnistes comme Daniel Dennett de l'Université Tufts pensent qu'il n'y a rien à comparer : nous n'avons pas d'états subjectifs, seulement des états matériels. Vous et votre double dans V seriez donc vraiment impossibles à différencier. Le philosophe David Chalmers défend le point de vue opposé. L'Australien pense que l'expérience subjective d'un être humain n'est pas réductible à son état matériel. Dans le cas extrême, votre copie ne ressentirait absolument rien devant un film que vous trouvez palpitant. Lorsque vous goûtez ou touchez quelque chose, votre copie fait seulement

semblant. Elle hante son monde comme un zombie, une machine morte de chair et de sang. Chalmers croit également à une âme au-delà des molécules, les philosophes parlent de dualisme. Mais d'où viennent nos âmes et pourquoi le zombie n'en a-t-il pas ? Chalmers ne le sait pas. Peut-être êtes-vous tout simplement tombé sur le bon Univers. Le zombie ne se rendra jamais compte de sa malchance.

Le philosophe américain Donald Davidson, décédé en 2003, recherchait un compromis entre ces positions extrêmes. Il n'était pas dualiste comme Chalmers, mais moniste comme Denett : tout est matière. Il était pourtant convaincu que deux hommes exactement dans le même état physique pouvaient être différents. Lui aussi s'est imaginé un double de lui-même, toutefois son expérience mentale ne se déroulait pas dans un Univers lointain, mais sur Terre. L'histoire commence par un hasard incroyable : un orage se déchaîne sur un marais. Un éclair forme à partir des molécules du marais un corps qui ressemble à Davidson jusque dans les moindres détails physiques : le double de Davidson. Si la copie du marais se promenait dans le monde quotidien de Davidson, elle agirait exactement comme l'original. Mais serait-ce le même homme ?

Davidson (l'original) le conteste. Il se refuse même à considérer son double soudainement matérialisé comme un homme, il dit « ça » et non « il ». Certes, Davidson concède au cerveau de l'homme du marais des états de conscience subjectivement identiques aux siens. Mais ces états ont des causes différentes. Lorsque l'homme des marais fait par exemple comme s'il reconnaissait un ami de l'original, ses souvenirs le trompent. C'est l'éclair et non cet ami qui les a produits. L'homme du marais ne peut pas se souvenir de quelqu'un qu'il n'a encore jamais rencontré. Il manque à ses pensées et à ses sentiments, s'il en a, une référence. Il croit certes se souvenir, mais ses souvenirs sont faux. Pour Davidson, la conscience était donc plus que de la pure physiologie cérébrale.

Nos doubles dans d'autres mondes ne sont pas des hommes du marais. Ils ont un passé, leurs pensées et leurs souvenirs sont vrais. Mais ils ne se souviennent pas des mêmes choses que nous, ils se souviennent de copies de notre monde. Notre vie se déroule sur notre Terre, leur vie sur la leur. Personne ne vit simultanément sur plusieurs Terres. Nous ne devons pas nous inquiéter pour notre identité dans les multivers.

OÙ VIVENT NOS JUMEAUX ?

Les doubles ont leur place dans chaque modèle différent de multivers. Il est évident que des doubles vivent dans les mondes multiples de la physique quantique (le multivers niveau III, plus de détails dans le chapitre 10), car en fin de compte, selon cette théorie, le monde se ramifie continuellement en mondes parallèles. Le multivers très abstrait du niveau IV du cosmologiste

Max Tegmark (détails au chapitre 12) est également peuplé de doubles, d'autant qu'il contient les mondes multiples de la physique quantique comme une sorte de sous-groupe. Mais les deux théories du multivers les plus simples et les plus populaires actuellement semblent également suggérer l'existence de doubles.

La mousse d'Univers d'Alexander Vilenkin et d'Andreï Linde (multivers niveau II, chapitre 9) est constitué d'une infinité de bulles, chaque bulle étant un Univers né de son propre Big Bang. Les bulles ne se ressemblent beaucoup qu'au début : dans le Big Bang de chaque bulle, toutes les forces de la nature (dont la gravitation et la force électromagnétique) sont unies dans une force primitive unique. Mais ensuite, le hasard règne pendant un instant. Au cours de cette première microseconde se décide quelles lois et constantes de la nature vont avoir cours dans l'Univers en question. C'est comme si chaque Univers-bulle recevait juste après sa naissance son équipement génétique, mais avec un ADN constitué de gènes ordonnés aléatoirement. Nous habitons l'une de ces bulles.

Dans la mousse d'Univers, la probabilité que l'un d'entre eux produise de la vie est très faible, mais pas nulle (si elle était nulle, nous n'existerions pas). Alors, selon le paradoxe du singe savant, cela signifie qu'il existe également ailleurs d'autres civilisations semblables à la nôtre. Car même la probabilité extrêmement faible que la vie soit créée quelque part, une fois multipliée par la taille infinie du multivers, est égale à l'infini.

Tandis que la mousse d'Univers est constitué d'Univers assez exotiques et différents les uns des autres, dans le modèle de multivers le plus simple (multivers niveau I, chapitre 4), les mêmes lois et constantes de la nature sont valables partout. L'espace est dilaté infiniment et rempli partout de matière, d'étoiles et de galaxies, tout comme chaque secteur que l'on observe depuis la Terre. *Notre Univers* est un secteur sphérique dans cet espace d'un rayon d'environ 45 milliards d'années-lumière (en arrondissant : 10^{27} mètres). La lumière a parcouru cette distance depuis le Big Bang, expansion de l'espace incluse. Nous ne pouvons pas voir plus loin, mais seulement imaginer et la meilleure hypothèse est que cela continue au-delà de l'horizon de la même manière que de ce côté-ci.

Il en résulte, que dans le plus simple de tous les multivers vivent également des doubles. Le cosmologiste John Barrow résume cette réflexion en une sorte de profession de foi : *« Nous croyons que la probabilité que la vie se développe est supérieure à zéro parce qu'elle s'est finalement formée sur Terre de manière tout à fait naturelle. Il devrait donc exister dans un Univers infini une infinité de civilisations. Dans celles-ci doivent également se trouver des copies de nous tous à tous les âges. Lorsque quelqu'un meurt, il existe également quelque part dans le vaste Univers de nombreuses copies de lui, qui apportent du passé la même mémoire, les mêmes souvenirs et les mêmes expériences, mais continuent à vivre. Cela continue pour toujours et de ce point de vue, chacun de nous « vit » éternellement. »*

Par rapport à cette idée, la croyance religieuse en la vie éternelle ou la résurrection semble pour ainsi dire dépourvue d'imagination.

Nous savons également maintenant pourquoi nous n'avons jusqu'à présent reçu aucun signe de vie de nos doubles : parce qu'ils se trouvent hors de vue et hors de portée. Max Tegmark a calculé à l'aide de la mécanique quantique et du calcul de probabilité à quelle distance habitaient nos doubles. C'est une estimation approximative qu'on pourrait gribouiller sur la nappe d'un restaurant, mais cela vaut pour la plupart des théories importantes en physique. Notre sphère cosmique d'une expansion d'environ 10^{27} mètres contient donc environ $N = 10^{115}$ particules élémentaires. On peut les agencer en 2^N possibilités. À une distance de $2^N \times 10^{27}$ mètres = (env.) 10^{115} mètres devrait donc se trouver une copie exacte de notre Univers. Mais notre double le plus proche vit plus près parce que l'Univers entier n'a pas besoin d'être identique pour permettre la vie humaine sur une planète comme la Terre. Grâce à une évaluation similaire, Tegmark arrive à 10^{29} mètres comme étant la distance à laquelle vivent nos copies les plus proches. C'est très loin, bien plus loin que l'horizon de notre Univers. Trop loin pour recevoir un jour un appel d'un double.

L'un des rares à avoir tout de même rencontré un double de lui-même est l'écrivain argentin Jorge Luis Borges. Il le rencontre dans sa nouvelle *L'autre* : Borges est assis sur un banc lorsqu'un sentiment de déjà-vu l'envahit. S'est-il déjà assis ici ? Il remarque que quelqu'un s'assoit près de lui. Quelqu'un qui possède une voix étrangement familière. Ils commencent à parler et s'aperçoivent qu'ils sont des doubles : près de Borges est assis Borges, de 50 ans plus jeune.

Borges raconte à Borges les choses oubliées de sa jeunesse. Borges raconte à Borges ce qui l'attend au cours des prochaines décennies. Mais ils sont incapables de se comprendre réellement : « *Nous étions trop différents et trop semblables. Nous ne pouvions nous leurrer, ce qui rend difficile le dialogue. Chacun des deux était la copie caricaturale de l'autre.* » Ils se donnent rendez-vous pour le lendemain. Mais Borges n'y va pas parce qu'il pense que Borges n'y va pas non plus. La rencontre le trouble profondément : « *[m]a première intention avait été de l'oublier pour ne pas perdre la raison.* »

9

Nos étranges voisins

Les éléments, dans les autres régions de l'espace, ont semé des êtres, des mortels et des mondes.

Lucrèce, *De la Nature*

Amour libre, LSD, manifestations contre la guerre. Leonard Susskind a participé à tout cela et « *bien plus encore* », insiste-t-il. Ensuite, il est devenu professeur de physique à Stanford, mais est resté rebelle de cœur. En 2005, il a écrit un livre qui indigna encore aujourd'hui ses collègues. *The Cosmic Landscape (Le paysage cosmique)* est un plaidoyer ardent pour le multivers.

Ce fut une provocation et un choc pour beaucoup de collègues de Susskind. Il est l'un des grands personnages de la physique théorique, il a participé au développement de la théorie des cordes et passé une grande partie de sa carrière à chercher la théorie du Tout pour un Univers en particulier, le nôtre. Cette théorie du Tout qui devrait permettre un jour d'inscrire l'ensemble des connaissances de la physique sur un tee-shirt. Mais il s'avéra par la suite que la théorie des cordes ne menait à aucune formule du Tout unique. Ses équations ont tant de solutions qu'on ne peut en proposer que des estimations. Elles sont en tout cas trop longues pour tenir sur un tee-shirt. Mais Susskind ne se résigne pas. Il postule maintenant que les solutions théoriques ne sont pas une aberration mathématique, mais correspondent à des Univers réels. Cela signifierait qu'il existe à côté de notre Univers connu d'innombrables autres, et que dans chacun d'eux règnent des lois de la nature différentes. Susskind écrit : « *La vieille question du XX^e siècle "Que peut-on trouver dans l'Univers ?" est remplacée par la question "Que n'y peut-on trouver ?" »*

Le livre de Susskind eut un effet comparable à celui qu'aurait l'annonce de la conversion du pape à l'hindouisme. Certes, quelques physiciens quantiques, cosmologistes et philosophes spéculaient déjà depuis des décennies sur l'existence d'Univers parallèles. Mais il s'agissait de marginaux.

On assista alors à un renversement. De plus en plus de théoriciens des cordes et de physiciens des particules dissertent désormais sur la possibilité

de l'existence des mondes multiples. Ils forment un puissant lobby au sein de la physique. Le prix Nobel Steven Weinberg lui-même, théoricien respectable, reconnaît ouvertement : « *Je ne suis pas encore convaincu par le multivers, mais je prends cette possibilité au sérieux.* » Cette nouvelle vision du monde s'ancre dans l'esprit des chercheurs.

Selon Susskind, nous vivons « *dans une poche infiniment petite d'un mégavers immense* ». Notre monde ne serait qu'une niche hospitalière pour l'homme, à côté d'innombrables autres Univers, dans lesquels règnent des lois de la nature différentes. S'il existait des Universités dans chaque Univers, les étudiants y apprendraient une physique différente. Il est impossible d'envoyer les manuels d'un Univers à l'autre. Le contact entre eux est physiquement impossible. Ils sont bien trop éloignés les uns des autres. Le problème principal de cette représentation est donc son caractère invérifiable : comment pouvons-nous savoir que la théorie des mondes multiples est vraie ? Même si les nombreux autres mondes existaient réellement, nous ne pourrions jamais les voir, sans parler de les explorer.

La critique est donc dure pour les thèses de Susskind. « *Je pense que cette théorie est dangereuse* », affirme le professeur de physique Paul Steinhardt. « *La science aurait une fin déprimante.* » Le théoricien des cordes Brian Greene, auteur du bestseller *L'Univers élégant*, craint que l'idée empêche les scientifiques de chercher des explications plus profondes. Et le cosmologiste Lee Smolin gronde : « *Lenny Susskind se trompe et il va se rendre compte de son erreur.* »

L'enjeu est important de même que le besoin d'explications. Pourquoi quelqu'un comme Susskind s'est-il ainsi converti ? Comment se représente-t-il exactement le multivers ? Qu'offre-t-il de si séduisant ? Et pourquoi cette idée serait-elle dangereuse pour la physique ?

THÉORIE DU TOUT : MISSION IMPOSSIBLE

La théorie du Tout, c'est le Saint Graal de la physique. Elle doit répondre à la plus importante de toutes les questions : pourquoi l'Univers est-il tel qu'il est et pas autrement ? Jusqu'ici cette théorie n'est malheureusement pas en vue.

Il y a certes eu des progrès. Les succès de la physique au cours des 300 dernières années sont impressionnants. Le résumé du programme de recherche est le suivant : attribuer les phénomènes de la nature les plus différents au minimum de lois de la nature possible jusqu'à ce qu'à la fin il ne reste qu'une loi de la nature globale. Les physiciens appellent cela l'« *unification* », tous les autres parlent de « *théorie du Tout* ».

Newton fut le premier à emprunter cette voie. Il établit les trois lois du mouvement, dites « lois de Newton », et put montrer que ces lois ne décrivaient pas seulement correctement les trajectoires de boulets de canon,

mais également les orbites des planètes. Newton mit fin à la division, qui prévalait depuis Aristote, des phénomènes naturels en phénomènes célestes et terrestres. Il unifia les deux mécaniques.

La deuxième grande unification de la physique a été réussie par le physicien James Clerk Maxwell au XIX^e siècle. Il établit quatre équations liant électricité et magnétisme. Lorsque le courant électrique passe à travers un fil, il crée un champ magnétique. Lorsqu'une bobine électrique passe à travers un champ magnétique, celui-ci produit de l'électricité dans le fil. On déduisit également des équations de Maxwell que la lumière n'est rien d'autre qu'une vibration des champs électriques et magnétiques. Maxwell avait uni électricité et magnétisme dans la théorie de l'électromagnétisme.

Au début du XX^e siècle, Albert Einstein formula la théorie de la Relativité, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et d'autres, la mécanique quantique. La mécanique quantique ne décrivait pas seulement les phénomènes électromagnétiques, mais également le monde des atomes, elle était plus globale que la théorie de Maxwell. Et la théorie de la Relativité d'Einstein était plus Universelle que la physique classique de Newton. Elle valait également pour les étoiles très massives, qui déforment pour ainsi dire l'espace et contraignent la lumière en une courbe et elle montrait qu'on pouvait convertir la masse et l'énergie l'une en l'autre : *« L'énergie est égale à la masse fois la vitesse de la lumière au carré »*. $E = mc^2$ est devenu la formule la plus célèbre de la physique et un modèle pour la théorie du Tout. On peut l'écrire en grand sur un tee-shirt. Les anciennes théories de Newton et de Maxwell n'étaient pas reniées, mais devinrent des cas particuliers des nouvelles théories.

Stimulé par ce succès, Einstein tenta au cours des trente dernières années de sa vie d'unir électromagnétisme et gravitation en une seule théorie. Il échoua. Cela n'aurait pas entravé le progrès de la physique, remarqua plus tard l'un de ses biographes, si Einstein s'était contenté à cette époque de se consacrer à sa passion, la voile.

La mission théorie du Tout s'interrompt. Jusqu'à aujourd'hui, elle avance à la vitesse d'un escargot. La mécanique quantique et la théorie de la Relativité se trouvent l'une à côté de l'autre comme Adam et Ève avant la chute. Elles sont le cœur et l'âme de la physique, mais ne se rapprochent pas. Elles ne fonctionnent pas pour le moment du Big Bang, les rapports sont trop extrêmes. Et elles ne peuvent pas non plus expliquer pourquoi la lumière a une vitesse d'environ 300 000 kilomètres par seconde ni pourquoi le poids d'un atome d'hydrogène est exactement 0,000 000 000 000 000 00167 milligrammes. Les physiciens doivent introduire des douzaines de constantes dans les équations.

LE MULTIVERS DES THÉORICIENS DES CORDES

« *Quand j'étais un jeune physicien, j'espérais trouver de la beauté et de l'élégance dans les lois de la nature* », se souvient Leonard Susskind. Pour lui, la physique ressemblait à la manière dont son père, plombier à New York, posait des tuyaux : à angle droit, en parallèle, avec un certain esthétisme. « *Au lieu de quoi, je trouvai un désordre déprimant.* » C'était à la fin des années 1960. Dans les années 1970, la situation s'améliora, le modèle standard de la physique des particules se forma et apporta un peu d'ordre à la multiplicité troublante des particules, qu'on avait à l'époque trouvées dans les accélérateurs de particules et dans le rayonnement cosmique. Dans les années 1980, les physiciens devinrent euphoriques. Une nouvelle théorie leur donnait de l'espoir, elle décrivait les particules élémentaires non plus comme des particules en forme de points, mais comme des cordes ou des fils vibrants. Ces cordes sont certes trop petites pour pouvoir jamais être observées (10^{-33} centimètres, beaucoup plus petites qu'un noyau atomique), mais cette astuce permit d'éviter les infinis mathématiques dans les équations. Et même la force de gravitation de la théorie de la Relativité trouva sa place dans cette construction mentale abstraite. Une fusion de la gravitation et de la physique quantique semblait en vue. Depuis, 20 ans ont passé et la théorie des cordes est toujours si compliquée que certains physiciens hésitent même à parler d'une vraie théorie.

Le vulgarisateur de la physique Michio Kaku, dans son livre *Parallel Worlds*, compare la théorie des cordes à un joli petit caillou trouvé dans le désert par les physiciens : « *Lorsque nous balayons le sable sur le côté, nous constatons qu'il s'agit en réalité de la pointe d'une immense pyramide enterrée sous des tonnes de sable. Après des décennies, nous tombons sur des hiéroglyphes mystérieux, des chambres et des tunnels cachés. Un jour, nous arriverons au niveau le plus bas et ouvrirons enfin la porte.* » Ce que Kaku formule en un langage poétique, c'est le rêve de la théorie du Tout, une théorie qui décrit notre monde et uniquement le nôtre, et dont on peut déduire toutes les lois et les constantes de la nature de notre Univers.

Ce rêve a volé en éclats, explique Susskind, « *la Belle s'est transformée en Bête* ». Le problème réside dans les nombreuses dimensions de la théorie des cordes. La théorie ne fonctionne que si l'on suppose que l'espace possède au moins neuf dimensions. Comme nous vivons manifestement dans un monde en trois dimensions (à laquelle on peut éventuellement ajouter une dimension temporelle), les théoriciens des cordes ont d'abord rencontré un problème de crédibilité. Où étaient les autres ? Ils découvrirent finalement qu'on peut enrouler les dimensions supplémentaires de la théorie en des boules minuscules : compacter, disent les physiciens. Elles sont alors plus petites que des atomes, si bien qu'elles ne se font pas remarquer au quotidien. Cela semble fantastique, mais depuis la découverte de la mécanique quantique et de la théorie de la Relativité, rien ne peut plus effrayer les physiciens.

Le problème semble résolu, mais les théoriciens des cordes ont payé pour

cela le prix fort : il existe d'innombrables possibilités d'enrouler les dimensions supplémentaires. Et chaque possibilité correspond à sa propre sous-théorie avec ses propres particules élémentaires et forces de la nature. Dès 1986, certains théoriciens autour des physiciens allemands Dieter Lüst et Wolfgang Lerche pressentirent qu'« *il ne restait plus grand-chose de l'évidence autrefois célébrée de la théorie des cordes* ». Avec un ordinateur, à l'époque cher et rare, on pourrait rapidement construire des centaines de sous-théories, écrivirent-ils dans un article spécialisé, et ces théories semblaient pouvoir décrire des mondes réels.

Leurs collègues ne se laissèrent d'abord pas troubler. Ils continuèrent à chercher une théorie du Tout, description exacte de notre Univers, avec la conviction qu'il était unique. Mais en l'an 2000, deux physiciens américains montrèrent à nouveau que la théorie des cordes disposait de 10^{500} variantes pour décrire une réalité en quatre dimensions (trois dimensions spatiales et une dimension temporelle). 10^{500} , c'est un *très* grand nombre. En comparaison, le moteur de recherche de Google possède sur ses serveurs 10^{12} sites Internet différents enregistrés. Depuis le Big Bang se sont écoulées 10^{17} secondes. L'Univers visible comprend environ 10^{80} atomes.

Cette découverte est à l'origine de la conversion de Leonard Susskind. Au lieu de continuer à chercher l'unique variante véritable, qui explique exactement notre Univers, il soutient maintenant que chaque variante décrit un Univers différent qui existe réellement. Au lieu de l'image d'une pyramide, il utilise celle d'un paysage imaginaire illimité, avec des montagnes, des vallées et des hauts plateaux. Et dans chaque vallée existe un Univers différent. Certains ressemblent au nôtre, d'autres sont vides, beaucoup n'existent que brièvement avant que naisse un nouvel Univers dans la vallée.

Les réactions vis-à-vis de l'ouvrage de Susskind *The Cosmic Landscape* (Le Paysage cosmique) furent variées. L'historien Peter Galison s'extasia sur cette « *contribution engagée et limpide dans ce débat fondamental* ». Le théoricien des cordes Wolfgang Lerche pesta en revanche sur un forum Internet : « *Nous aurions déjà pu et dû mener toute la discussion dès 1986. La seule chose qui ait changé depuis, c'est l'état mental de certaines personnes et ce que nous voyons maintenant c'est la machine de propagande de Stanford qui tourne à plein régime.* » La querelle confirme ce que les sociologues savent depuis longtemps : le processus de connaissance scientifique ne se déroule pas dans les laboratoires et les tranquilles salles d'étude, mais au cœur de la société. Il n'est pas animé par une pure soif de connaissance, mais également dirigé par l'opinion, le pouvoir, l'esprit du temps et la vanité. Lorsqu'un animal dominant comme Susskind court à contre-sens, le troupeau le suit.

Plusieurs théories du Tout, plusieurs Univers. La théorie des cordes a donc aussi son multivers. Dans les Univers parallèles, on devrait donc vendre des tee-shirts différents avec des théories du Tout différentes, explique le cosmologiste Max Tegmark.

Le multivers de la théorie des cordes s'intègre à la perfection à une vision du monde que des cosmologistes comme Tegmark, Linde et Vilenkin prônent déjà depuis vingt ans : le scénario de l'inflation éternelle. *« L'origine du trouble aujourd'hui c'est de savoir que la théorie des cordes possède quelques propriétés qui s'accordent très bien avec cette vieille idée »*, explique Susskind.

Le modèle du Big Bang dit que notre Univers s'est formé il y a environ 14 milliards d'années dans une boule de feu brûlante et dense. Il s'est dilaté et ainsi refroidi. Les particules élémentaires ont fusionné pour devenir des atomes, les atomes pour devenir des nuages de gaz, les nuages de gaz des étoiles, les étoiles des galaxies. Aux alentours de certaines étoiles se formèrent des planètes, l'une d'entre elles est la Terre. Mais ce n'est qu'une demi-vérité.

Afin que le modèle du Big Bang coïncide avec les observations des astronomes, le physicien des particules Alan Guth eut en 1980 l'idée de l'inflation (chapitre 6) : l'Univers s'est dilaté à une vitesse fulgurante au cours du tout premier instant après le Big Bang. Avant sa dilatation, il était plus petit qu'un petit pois, après la dilation, plus grand que la Voie lactée. Et tout cela se passa en un clin d'œil. Guth s'interrogeait encore à l'époque sur le fonctionnement détaillé de la dilatation, mais il publia tout de même son essai *« dans l'espoir qu'il encouragerait d'autres chercheurs à trouver un moyen d'éviter les propriétés indésirables du scénario de l'inflation. »* Les deux cosmologistes russes, Andreï Linde et Alexander Vilenkin, le trouvèrent : ils firent de l'Univers un multivers.

Il fallut peut-être pour cela ces deux scientifiques aux carrières tout sauf rectilignes. Tout comme Vilenkin, Linde avait étudié la physique dans l'ancienne Union soviétique et y avait développé une aversion pour les systèmes dogmatiques et autoritaires, du communisme au christianisme. Il émigra en Californie en 1989.

Linde et Vilenkin développèrent la théorie de l'inflation pour en faire un scénario de l'inflation éternelle et chaotique. L'Univers serait ainsi beaucoup plus grand et plus varié que ce que l'on pensait : un multivers. Dans notre partie du multivers, la dilatation explosive de l'espace est terminée et notre Univers connaît maintenant une expansion plus tranquille, mais, au-delà de notre horizon, l'inflation continue. Là-bas se forment des régions comme la nôtre. Et revoilà donc la comparaison avec le bain moussant : *« Dans une image simple, on pourrait dire que le multivers est constitué de bulles (les Univers) qui se forment dans l'espace et se dilatent ensuite à la vitesse de la lumière »*, explique Vilenkin. Les bulles qui se sont formées il y a longtemps sont énormes, celles qui viennent de le faire sont minuscules. Entre les bulles, l'espace connaît une expansion si rapide qu'elles n'entrent jamais en collision, au contraire : elles s'éloignent de plus en plus les unes des autres. Vilenkin conclut : *« C'est une image assez mousseuse. »*

La prochaine fois que vous ferez couler de l'eau dans votre baignoire, mettez un peu plus de bain moussant que d'habitude et imaginez que la

mousse remplisse toute votre salle de bains en quelques secondes, déborde dans le couloir, mousse dans l'escalier, jusque dans la rue et à travers la ville, et, pendant que vous enlevez vos chaussettes, augmente jusqu'à atteindre la taille de notre Univers et prenne bientôt encore plus de place. Et si maintenant vous imaginez que toutes ces bulles sont des Univers contenant des étoiles et des êtres vivants, vous aurez une bonne idée du multivers de l'inflation éternelle. Sauf que le multivers est beaucoup plus grand.

Andreï Linde explique : « *Nous ne tenions pas à trouver coûte que coûte une théorie extravagante. Mais lorsque nous avons tenté de résoudre certains problèmes de la théorie du Big Bang telle qu'elle existait jusqu'alors (et il y en avait un certain nombre), nous en sommes arrivés à la théorie des Univers multiples.* »

Dans la théorie de l'inflation éternelle, il n'existe pas un seul, mais plusieurs Big Bangs. Chaque bulle commence par son propre Big Bang et gonfle ensuite. Un processus aléatoire de physique quantique détermine les lois et constantes de la nature dans chaque Univers, dont l'amplitude de l'antigravitation. Les Univers du multivers ne sont donc pas tous identiques. Certains ont une antigravitation importante et éclatent rapidement, d'autres gonflent plus lentement. Dans beaucoup de bulles, la gravitation est si forte que ces Univers ne sont peuplés que de trous noirs. Il existe également des bulles vides, dans lesquelles ni atome ni matière ne se sont jamais formés parce que la charge électrique et la masse des particules élémentaires n'étaient pas adaptées. Entre les Univers, l'inflation se poursuit. C'est pourquoi on ne peut passer d'un Univers à l'autre : l'espace entre les Univers se dilate plus rapidement que les bulles elles-mêmes. Les Univers vont et viennent, beaucoup existent simultanément dans le temps et l'espace. Le multivers en tant que tout n'a ni début ni fin.

LE MULTIVERS RESSEMBLE À L'EX-UNION SOVIÉTIQUE

Quelle ironie : au XX^e siècle, deux fractions s'affrontaient. Les théoriciens du Big Bang croyaient à un début de l'Univers, le camp adverse à l'Univers éternel, dans lequel se formaient et disparaissaient continuellement étoiles et galaxies. Les théoriciens du Big Bang gagnèrent la bataille. Le multivers offre pourtant de la place aux deux théories. Il allume de nombreux Big Bangs, mais existe éternellement. Après que Vilenkin eut concocté le scénario de l'inflation éternelle, il se rendit au Massachusetts Institute of Technology pour faire part de son idée à Alan Guth, l'inventeur de la théorie de l'inflation. Mais pendant que Vilenkin expliquait ses idées, les yeux de Guth se fermèrent. Vilenkin ne se laissa pas troubler et publia sa théorie. Il créa même une simulation du multivers sur ordinateur. Le multivers en deux dimensions ressemblait à une carte géographique de son ancienne patrie, l'Union soviétique après sa chute : découpé en régions de différentes tailles,

avec les lois et les régimes les plus divers, de l'anarchie à la démocratie. À la différence que l'invasion d'un pays par un autre est interdite dans le multivers.

Pendant longtemps, peu de gens s'intéressèrent à la vision du monde des deux Russes. « *La plupart des physiciens trouvaient cette idée bizarre* », se souvient Guth, « *à la rigueur, elle était intéressante pour certains cosmologistes qui craignaient le contact de leurs théories avec les observations réelles.* » Puis, on annonça que la théorie des cordes pourrait avoir 10^{500} variantes. Cela changeait tout.

Les physiciens des particules, les théoriciens des cordes et les cosmologistes se rendirent soudain compte qu'avec des points de départ différents ils étaient arrivés à la même idée. La physique des particules montre comment des particules et des lois différentes peuvent se former après un Big Bang. Les cosmologistes pensent à un cosmos en expansion éternelle, dans lequel des Univers surgissent comme de petites bulles. Et les théoriciens des cordes constatèrent que les 10^{500} variantes de leur théorie pouvaient chacune décrire un Univers différent. Et ils découvrent de plus en plus de variantes, on parle déjà de $10^{100\ 000}$, peut-être même sont-elles infinies. Même Alan Guth est désormais convaincu. « *Lorsque l'inflation commença* », dit-il, « *elle ne créa pas un seul, mais une infinité d'Univers.* »

Cela permettrait également de répondre à la question que la théorie du Tout est censée résoudre : pourquoi l'Univers est-il tel qu'il est ? La réponse serait la suivante : notre Univers est un hasard dont il ne faut pas s'étonner, l'existence d'un Univers hospitalier à l'homme n'est qu'une conséquence statistique. Parmi les 10^{500} voire les 10^{10000} Univers, le nôtre doit simplement exister, tout comme quelqu'un a toujours les six bons numéros au loto si suffisamment de personnes ont joué. Si tous les hommes jouaient au loto sur Terre, il y aurait plus de 1 000 gagnants à chaque tirage.

« *Beaucoup de choses dans notre environnement sont des hasards de l'histoire* », explique l'astronome sir Martin Rees, « *par exemple la position exacte des planètes et des astéroïdes dans le Système solaire.* » Rees compare le multivers à un grand magasin de vêtements : « *Si le choix de vêtements est suffisamment grand, nous ne sommes pas surpris de trouver quelque chose qui nous va.* » Nous avons trouvé notre propre Univers.

Mais comment prouver la théorie du multivers si on n'a jamais l'occasion de voir les autres mondes ? Certains cosmologistes ont introduit une mesure très personnelle : Martin Rees parierait son chien sur la thèse du multivers, Andreï Linde serait même prêt à parier sa vie. Et le prix Nobel Steven Weinberg annonça qu'il avait suffisamment confiance en cette théorie « *pour parier aussi bien la vie d'Andreï Linde que le chien de Martin Rees.* »

10

Lorsque le monde se divise

Dans toutes les fictions, chaque fois que plusieurs possibilités se présentent, l'homme en adopte une et élimine les autres ; dans la fiction du presque inextricable Ts'ui Pên, il les adopte toutes simultanément. Il crée ainsi divers avenir, divers temps, qui prolifèrent aussi et bifurquent. De là, les contradictions du roman.

Jorge Luis Borges,
Le jardin aux sentiers qui bifurquent, 1941

Correspondance entre un petit curieux et un génie : en 1943, Albert Einstein reçut un courrier d'un jeune Américain. Hugh Everett, alors âgé de 12 ans, demanda au prix Nobel s'il existait un hasard qui faisait tenir le monde. Einstein éluda la question :

Il semble exister un garçon très têtu qui s'est frayé un chemin à travers d'étranges difficultés qu'il a lui-même créées dans ce but.

Avec mes meilleures salutations, ton Albert Einstein.

Le hasard. Le jeune Hugh venait d'aborder un sujet délicat. Ce qu'il demandait à l'éminence de la physique divisait à l'époque la communauté des chercheurs. Einstein ne faisait aucun cas du hasard. Il croyait à la « *pleine légalité* » de la nature, pensait que le monde fonctionnait comme un mouvement d'horlogerie, de manière strictement mécanique et prévisible. Il était convaincu que « *Dieu ne joue [ait] pas aux dés.* » Mais il était désormais sur la défensive. Niels Bohr, le physicien atomique danois, avait convaincu beaucoup de ses collègues que Dieu jouait très probablement aux dés. Dans le monde des atomes, les événements physiques seraient donc tout de même aléatoires. Pendant trois décennies, le dogme du hasard de Bohr demeura presque incontesté jusqu'à ce que quelqu'un l'ébranle : un physicien très têtu du nom de... Hugh Everett.

Mouvement d'horlogerie ou jeu de hasard ? La querelle sur l'essence de la nature commença au milieu du XX^e siècle. Depuis le début du siècle, les physiciens avaient tenté d'expliquer théoriquement le comportement des plus petits éléments de la matière et de la lumière : électrons, protons, neutrons et photons. Ensuite, dans une éruption de créativité collective, Niels Bohr, Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger et d'autres physiciens découvrirent la

théorie qui allait marquer la physique pour le reste du siècle : la mécanique quantique.

Les particules avaient posé aux chercheurs de nombreuses énigmes. Dans le laboratoire, elles se comportaient de manière très étrange. Il semblait parfois qu'elles se trouvaient en plusieurs lieux à la fois. Dans certaines expériences, elles se propageaient comme des ondes lumineuses ou sonores, passaient dans les coins ou se superposaient comme les voix d'un chœur. Les particules étaient-elles en réalité des ondes ? Non, il ne pouvait pas en être ainsi. Car dès que les appareils de mesure étaient allumés, elles se comportaient comme des particules tout à fait normales. Chacune à sa place, pas de superposition. La nature semblait se moquer des chercheurs. Lorsqu'on ne l'observe pas, le micromonde est un véritable fouillis d'ondes. Dès qu'on le regarde, il n'y a plus que des particules bien sages. Les particules semblaient se comporter avec les chercheurs comme une classe avec son professeur. Dès qu'il a le dos tourné, les élèves se mettent à chahuter ; lorsqu'il se retourne vers sa classe, tous les élèves sont à nouveau sagement assis sur leurs chaises. La mécanique quantique décrit ce cauchemar avec une précision infaillible. Mais c'est le hasard qui décide à quelle place est assis chaque élève.

De quel genre de théorie s'agissait-il donc ? Ses fondateurs n'y avaient chacun contribué que partiellement. Ensuite, tous s'étonnèrent de l'œuvre collective. Elle était d'une abstraction mathématique sans précédent. Werner Heisenberg formula la théorie avec des objets mathématiques nommés matrices. Erwin Schrödinger mania des fonctions d'onde, mais lui-même ne savait pas exactement dans quels espaces les ondes se propageaient. Les coryphées de la physique se trouvaient devant une toute nouvelle situation : ils ne comprenaient pas la théorie à partir de laquelle ils faisaient leurs calculs. Et pourtant, elle fonctionnait. Mais comment ?

Les mécaniciens quantiques commencèrent peu à peu à comprendre ce que leurs formules signifiaient. Elles autorisaient aux particules ce que toutes les autres théories antérieures leur avait interdit, et qui était contraire à l'expérience quotidienne : elles pouvaient être simultanément dans plusieurs états, par exemple se trouver dans plusieurs lieux à la fois ou avoir simultanément des vitesses différentes. Un électron en deux lieux à la fois ? Ce n'est pas un problème pour les formules de la mécanique quantique. En revanche, cela pose un vrai problème à notre intuition. Personne n'a jamais vu une voiture rouler en même temps dans deux directions opposées ! Pour un électron, une existence hybride comme celle-ci est tout à fait normale (les physiciens parlent d'*états de superposition*).

La mécanique quantique connut un succès sans précédent. Elle fut vérifiée de manière expérimentale un nombre de fois incalculable et avec une grande précision. On ne constata pas la moindre contradiction entre la prédiction et les mesures. Nous devons à la mécanique quantique certains progrès techniques importants : le laser, l'ordinateur, le téléphone portable. Grâce à

elle, les physiciens purent enfin expliquer ce qui leur posait problème depuis des décennies : la manière dont les atomes subissent une fission radioactive et réagissent chimiquement les uns avec les autres. Ils reconnurent que les effets quantiques étaient également à la base de nombreux phénomènes quotidiens : la dureté et la couleur de différents matériaux, l'absorption de la lumière dans les cellules photovoltaïques, l'existence d'objets solides, tout cela peut être expliqué grâce à la mécanique quantique.

LE DUEL DES GÉANTS

À peine la mécanique quantique était-elle formulée qu'un débat éclata à propos de sa signification. Les physiciens tentèrent de se faire une image claire de la réalité cachée derrière les formules, mais ils désespérèrent. Ces quanta seraient « *une ignominie sans espoir* », pesta Max Born. Erwin Schrödinger alla jusqu'à regretter de « *s'être intéressé à la mécanique quantique* ».

La voix la plus puissante était celle de Niels Bohr, le prix Nobel danois. Au début de 1927, il passa quelques semaines en Norvège en hiver. Il skia, médita sur les quanta et revint à Copenhague avec des révélations qui deviendraient plus tard célèbres sous le nom d'« *interprétation de Copenhague* » de la mécanique quantique. De sa tentative ratée de comprendre la mécanique quantique, il avait déduit la conséquence la plus radicale : il n'y avait rien à comprendre.

Un jour, le philosophe Harald Høffding demanda à son ami Bohr où devait être un électron non observé dans une expérience selon la théorie. Bohr, pourtant calme et bien élevé, se mit en colère : « *Être, être !* », répondit-il, « *qu'est-ce que cela veut dire, être ?* » Simplement « *être* » n'avait aucun sens pour Bohr dans le monde de l'infiniment petit. Pour lui, l'existence ne pouvait être séparée de l'observation. Car les particules et les atomes sont si sensibles qu'une mesure les influence inévitablement. « *Toute observation de phénomènes atomiques exige une interaction non négligeable avec l'appareil de mesure* », expliqua Bohr en septembre 1927 lors d'une conférence, « *on ne peut donc attribuer ni aux phénomènes ni au moyen d'observation une réalité physique indépendante au sens habituel.* »

Du point de vue de Bohr, un électron non observé n'est qu'un électron possible. Il ne mène aucune existence autonome comme une pierre, un arbre ou la Lune. Il ne devient un véritable électron que lorsque quelqu'un l'observe. Alors, il passe du « *possible au factuel* », comme le formula Heisenberg. Alors, la mixture d'état abstraite se condense d'une manière étrange pour former une particule concrète. De nombreux physiciens quantiques décrivent ce moment comme la « *réduction du paquet d'ondes* ». On ne peut pas prévoir pour une particule unique dans lequel des états possibles l'observateur la trouvera, c'est une question de probabilité. Le

hasard règne sur l'infiniment petit.

L'épreuve du feu pour l'interprétation de Copenhague eut lieu lors des congrès de Solvay qui se déroulèrent en 1927 et 1930 à Bruxelles et où les coryphées de la physique se réunirent pour des rencontres officielles au sommet. Au centre de ces rencontres se trouvaient Niels Bohr et Albert Einstein, qui se livraient chaque jour à des joutes oratoires au sujet de la mécanique quantique. Einstein refusait de laisser le hasard dominer le monde de la physique. Il entrait souvent dès le matin dans la salle de petit déjeuner du luxueux hôtel Metropol en annonçant avoir réfuté la mécanique quantique de Bohr. Bohr écoutait tout, réfléchissait en silence et, au dîner, il servait à Einstein un contre-argument. Le lendemain matin, l'infatigable Einstein se présentait à nouveau contre Bohr, *« comme le diable sorti de sa boîte, il jaillissait tout frais chaque matin »*, se souvint plus tard Paul Ehrenfest, un ami d'Einstein.

Un jour d'octobre, pendant le congrès de 1930, la discussion prit un tour dramatique. Une fois de plus, Einstein avait imaginé une expérience mentale qui devait renverser la mécanique quantique de Bohr. Il voulait montrer comment il est possible de mesurer l'état d'une particule sans la déranger. Au club de la Fondation Universitaire, il présenta son idée à Bohr. Le Danois était vraiment inquiet. *« Sur le moment, il n'entrevoit aucune solution »*, se souvint Ehrenfest, *« il tenta de convaincre tout le monde que ce ne pouvait être vrai, car si Einstein avait raison, cela signifierait la fin de la physique. Je n'oublierai jamais le spectacle qu'offraient les deux adversaires en quittant le club de l'Université. Einstein, à l'allure majestueuse, s'en alla calmement avec un petit sourire ironique, Bohr trottant à côté de lui, très énervé. »* Cette fois-ci, l'argument d'Einstein passa le dîner sans être réfuté. Toute la nuit, Bohr réfléchit fiévreusement et dormit peu. Mais à temps pour le petit déjeuner, il trouva une issue : Einstein avait oublié un effet de sa propre théorie de la relativité et son argument s'écroulait...

« TAIS-TOI ET CALCULE ! »

Einstein avait perdu. Aucune de ses expériences mentales ne permit de réfuter la mécanique quantique. L'interprétation de Copenhague s'établit pour les prochaines décennies comme l'interprétation standard de la mécanique quantique. Presque tous les manuels la reprennent. De nombreux physiciens trouvent difficile d'abandonner l'idée d'une réalité objective indépendante de l'observateur. Mais dans un premier temps, aucun d'entre eux n'avait trouvé de meilleure idée que Bohr. Ils se résignèrent à ce que le micromonde soit un peu différent : *« Shut up and calculate ! »* était leur devise : *« Tais-toi et calcule ! »*

Mais les questions critiques ne disparurent pas simplement parce qu'on les ignorait. Pourquoi ne devrait-on accorder aucune réalité autonome à

l'infiniment petit ? Simplement parce que nous ne pouvons pas nous le représenter ? Pourquoi les électrons, les protons et les neutrons dont est constitué le monde quotidien (les pierres, les arbres et nous-mêmes) devraient-ils obéir à des lois physiques fondamentalement différentes de celles auxquelles obéissent justement ces objets du monde quotidien ? « *Dans tout ce que nous pouvons voir de l'Univers, il existe 10^{80} particules* », explique Max Tegmark. « *Nous avons testé la mécanique quantique pour des particules isolées. Elle fonctionne. Puis pour deux particules. Elle fonctionne toujours. Pour 60 particules aussi. Maintenant, les chercheurs veulent la tester pour 10^{15} particules. Lorsque nous y serons parvenus, on pourra aisément concevoir qu'elle est également valable pour des systèmes plus grands que l'Univers observable.* »

En réalité, la physique expérimentale a démontré au cours des dernières années que la nature bizarre de la mécanique quantique apparaissait également dans le monde visible. Anton Zeilinger de l'Université de Vienne et les scientifiques de l'institut Max Planck d'optique quantique de Garching ont envoyé des particules de lumière en va-et-vient entre les îles de la Palma et de Ténériffe et ont ainsi produit des états hybrides de mécanique quantique sur une distance de 144 kilomètres. Zeilinger réussit également dans son laboratoire à faire interférer entre elles les molécules de 60 atomes comme des ondes. Un jour, l'expérience pourrait également réussir avec des formations encore plus grandes, par exemple des virus, pense-t-il. La seule condition est qu'elle soit bien isolée du reste du monde.

Bohr avait également tracé un trait de séparation mentale à travers le monde physique afin de l'ordonner : de ce côté se trouve notre monde macroscopique habituel, de l'autre côté l'étrange microcosme. Mais où se trouve exactement la limite ? Les virus font-ils encore partie du microcosme ? Par rapport aux atomes isolés, ils sont gigantesques.

En 1935, Erwin Schrödinger montra à quel point la séparation entre le microcosme et le macrocosme est artificielle dans une expérience mentale devenue célèbre. Il faut d'abord s'imaginer un atome radioactif dans une boîte fermée, par exemple un atome de l'élément francium dont la demi-vie est de 22 minutes. Une fois ce temps écoulé, la probabilité que l'atome se soit désintégré est de 50 %. Il suffisait de vérifier. Avant de le faire, il est absurde, d'après l'interprétation de Copenhague, de se demander si l'atome s'est désintégré « *en réalité* » ou non. La mécanique quantique décrit l'état de l'atome avant la vérification comme une superposition mathématique abstraite de deux états possibles : « *désintégré* » ou « *encore entier* ». Ce n'est que lorsque l'on ouvre la boîte et que l'on regarde à l'intérieur que l'atome se manifeste dans l'un des deux états.

Pour les atomes, on peut accepter qu'ils n'arrivent dans la réalité bien ordonnée qu'au moment où on les regarde. Mais Schrödinger poussa le raisonnement au bout. Il plaça un chat avec les atomes dans la boîte. Il ajouta un mécanisme meurtrier qui au moment de la désintégration de l'atome laisse tomber un petit marteau sur un flacon de poison. Ainsi, les

états de l'atome et du chat, du micromonde et du macromonde, sont liés les uns aux autres : lorsque l'atome se désintègre, le chat meurt. Tant que l'atome reste entier, le chat reste en vie. Qu'est-il arrivé au chat après la demi-vie de 22 minutes ? Est-il mort, vivant ou à moitié mort ? La description de la machine infernale selon la mécanique quantique signifie, d'après Schrödinger « *que dans la boîte, le chat vivant et le chat mort sont mélangés ou effacés en parts égales* ». Ce n'est que lorsque l'expérimentateur soulève le couvercle de la boîte que se décide le destin du chat. Ce n'est qu'à ce moment-là que l'animal est incontestablement mort ou incontestablement vivant. Absurde, considéra Schrödinger, qui refusa que la mécanique quantique soit considérée comme une « *représentation de la réalité* ».

Hugh Everett délivra le chat de Schrödinger de son état d'incertitude. Il montra comment on pouvait tout de même considérer la mécanique quantique comme une représentation de la réalité. Le prix à payer pour cela est le multivers.

REGARDE, UN NOUVEL UNIVERS !

En 1953, Everett, fils d'un colonel de l'US Army, était entré à l'Université de Princeton avec une bourse de mathématiques. Mais, au bout de quelques mois, il se tourna vers la physique théorique. Il lut des livres sur la théorie de la Relativité et assista aux derniers cours d'Albert Einstein qui continua son combat contre la mécanique quantique jusqu'à sa mort en 1955. La même année, Niels Bohr se rendit à l'Université avec un assistant. Autour d'un verre de sherry et de quelques cigarettes, ils discutèrent des paradoxes de la mécanique quantique. Everett écouta attentivement. Il avait trouvé son sujet de thèse. Il voulait résoudre ces paradoxes.

Everett était l'opposé de Bohr. Au lieu de contester la réalité des théories les mieux vérifiées de la physique, il les prenait au mot. L'interprétation de Copenhague avait limité de manière impérative le domaine de validité de la mécanique quantique aux appareils de mesure et pas plus loin ! Mais dans les équations, il n'existait aucune limite. Everett utilisa donc la mécanique quantique au-delà de l'infiniment petit : sur les instruments de mesure, les observateurs, de plus en plus loin. Il considéra le monde entier comme un unique système quantique et vit disparaître les paradoxes qui avaient tourmenté Bohr, Einstein et Schrödinger.

Après Bohr, de nombreux physiciens avaient affirmé que nous ne pouvons pas voir les états de superposition de la mécanique quantique parce qu'ils s'effondrent dès qu'on essaye de les mesurer. Mais ce mystérieux effondrement n'apparaît pas dans les équations de la théorie. Everett le supprima. Selon son interprétation, nous ne remarquons pas les états de superposition parce que nous en faisons nous-mêmes partie. Le physicien qui ouvre la boîte contenant le chat de Schrödinger tombe lui-même dans un état

double : une partie de lui voit le chat mort, l'autre partie voit le chat vivant. Avec le destin du chat se divise le monde entier. « *Cette idée semble sortie tout droit de notre imagination* », explique le physicien d'Heidelberg Dieter Zeh, « *mais c'est exactement ce que disent les formules. Et je fais confiance aux formules.* »

Avec l'effondrement disparut également le hasard. Dans l'interprétation de Copenhague, l'infiniment petit est un casino. Il est impossible de prévoir dans quel état un électron ou un chat se trouvera après l'effondrement de son état de superposition. La mécanique quantique selon l'interprétation de Copenhague ne propose que des énoncés de probabilité. Dans le monde d'Everett, aucun effondrement n'a lieu. Dieu n'a plus besoin de jouer aux dés. Einstein aurait été satisfait.

En mars 1957, Everett rendit sa thèse et en publia juste après un résumé sous le titre *La formulation de la mécanique quantique avec des états relatifs*. Everett avait choisi le terme « relatif » en référence à la théorie de la Relativité d'Einstein : l'état du monde est aussi relatif que le temps et le mouvement dans la théorie d'Einstein. Le monde se trouve simultanément dans de nombreux états et il se divise encore et encore. Chaque fois qu'on observe un système de mécanique quantique dans un état de superposition, de nouvelles branches de monde se forment : pour chaque état, une branche. Le monde est un multivers. Bryce DeWitt, l'un des professeurs d'Everett à Princeton fut le premier à désigner l'interprétation d'Everett de la mécanique quantique par son nom : la « *théorie des mondes multiples* ».

LES MONDES MULTIPLES TOMBENT DANS UN LONG SOMMEIL

Des mondes multiples ou un monde dans plusieurs états à la fois : on peut comprendre l'interprétation d'Everett de la mécanique quantique de l'une ou l'autre manière. Le physicien Michio Kaku se représente ainsi le multivers de la mécanique quantique : « *Lorsque vous écoutez la radio, votre appareil est réglé sur une certaine fréquence. La BBC par exemple et non radio Moscou. Cependant, toutes les fréquences bourdonnent dans votre salon, mais vous ne pouvez pas les entendre. Dans la mécanique quantique, nous sommes également des ondes. Nous sommes réglés sur une certaine fréquence, notre monde, mais les autres fréquences sont également là : les fréquences des dinosaures, des extraterrestres, d'une Terre qui entre-temps s'est désintégrée, les fréquences d'autres mondes.* »

Le travail d'Everett fut publié en juillet 1957 dans la revue spécialisée *Reviews of Modern Physics*. Everett attendit avec curiosité les réactions de ses collègues. Aucune ne vint. Les collègues ignorèrent son travail. « *L'un des*

secrets les mieux gardés du siècle », l'appela plus tard le physicien israélo-allemand Max Jammer.

Au printemps 1959, Everett rendit visite à Niels Bohr à Copenhague. Il ne fallait pas s'attendre à un bavardage décontracté. D'un côté, le vieux maître de la mécanique quantique âgé de 75 ans, de l'autre le silencieux Everett. Bohr refusa de parler de sa « *théorie de parvenu* ». Everett, déçu, se détourna pour toujours de la recherche fondamentale et s'orienta vers l'industrie de l'armement. À l'hôtel de Copenhague, il eut une idée commerciale qui allait plus tard lui rapporter beaucoup d'argent. Cet homme qui semblait si loin des réalités du monde devint un entrepreneur de génie.

La théorie des mondes multiples devint l'affaire des fumistes et des ésotériques. En 1970, alors qu'Everett faisait passer un entretien d'embauche à un jeune physicien du nom de Donald Reisler, il lui demanda s'il avait lu son article. « *Oh mon Dieu !* », laissa échapper Reisler, « *C'est vous le fou qui avez écrit cet article incroyable ! Je l'ai lu à l'Université, j'ai bien ri, je l'ai mis de côté et j'ai continué mon travail.* » Everett l'embaucha. Ils devinrent amis.

Pendant quatre décennies, la théorie des mondes multiples somnola dans son statut extravagant. Puis, dans les années 1990, les cosmologistes imaginèrent leur propre multivers. Deux approches totalement différentes pour une même idée. Les cosmologistes considèrent le macrocosme, les physiciens quantiques, le microcosme. Et tous en arrivent à un multivers : quelle entente étonnante !

Certes, le multivers de la cosmologie ne peut être identique aux mondes multiples d'Everett. Car l'un existe dans l'espace physique dans lequel nous vivons et les autres se ramifient dans l'espace abstrait de tous les états possibles du monde. Le multivers cosmologique n'est que l'un des multiples mondes de la mécanique quantique. Pourtant, les deux concepts se donnent du poids mutuellement : s'il existe au moins plus d'un monde, alors il peut y en avoir encore davantage.

De nombreuses questions restent en suspens. Par exemple, les tenants de la théorie des mondes multiples se disputent pour savoir si leur théorie propose de nouvelles prédictions que l'on peut vérifier par l'expérience ou bien si elle n'est qu'une nouvelle interprétation de l'ancienne théorie à laquelle on peut adhérer ou pas. Mais la théorie des mondes multiples est de plus en plus populaire. Lorsque Max Tegmark fit un sondage en 1997 parmi les participants à un atelier sur la mécanique quantique, 13 physiciens votèrent pour l'interprétation de Copenhague, huit pour la théorie des mondes multiples et neuf pour diverses autres interprétations. Dans cette assemblée du moins, Niels Bohr n'avait plus la majorité absolue. « *Un revirement remarquable par rapport à l'époque où l'interprétation de Copenhague régnait de manière incontestée* », explique Tegmark. Les années du « *Tais-toi et calcule !* » sont comptées. Si on ne veut pas accepter le multivers, il faut également rejeter la mécanique quantique. Peut-être que l'idée que le monde se divise en tous les scénarios possibles est ancrée plus profondément dans notre

pensée qu'il ne le semble au premier abord.

Dans la nouvelle *Le jardin aux sentiers qui bifurquent*, Jorge Luis Borges représente le temps comme un livre dans lequel toutes les possibilités deviennent réalité : pendant la Première Guerre mondiale, un agent allemand écrit un roman dont l'action se ramifie encore et encore... Chaque intrigue potentielle se produit réellement, ce qui crée un labyrinthe infini dans lequel chaque lecteur se perd inéluctablement. À travers la voix de l'un des personnages, Borges décrit sa représentation du temps comme une alternative à la conception de Newton d'un temps s'écoulant éternellement et régulièrement. Il appela sa nouvelle « Une histoire policière ». Il s'agissait également d'une prophétie. Borges y présente probablement la plus belle description du multivers de la mécanique quantique, longtemps avant les physiciens. Il a écrit cette nouvelle 16 ans avant qu'Everett propose sa théorie.

Entre la physique et l'ésotérisme

Le multivers est une idée dangereuse.

David Gross, prix Nobel de physique, 2008

Robert Laughlin avait un oncle arrogant, un agent de brevet. Pendant les vacances familiales au parc national de Yosemite, celui-ci logeait avec sa femme dans l'hôtel le plus chic de la région, se servait généreusement chaque matin au buffet du petit déjeuner et instruisait son neveu sur le monde. Randonner dans le parc national ? Non, merci. Il avait compris comment une chute d'eau fonctionne physiquement. À quoi bon admirer l'original ?

Le petit Robert supporta tout, étudia la physique et devint plus tard professeur de physique des corps solides à l'Université de Stanford. En 1998, il reçut le prix Nobel et en 2005, il écrivit un livre intitulé *A Different Universe (Un Univers différent)*. Il y compare les théoriciens des cordes et les cosmologistes à son oncle, coupé du réel et inculte, et la théorie du multivers à une religion d'État. Pour Laughlin, il est clair que « *Notre connaissance de l'Univers est en grande partie du bluff, de la frime avec rien derrière.* » Les cosmologistes délirent et radotent à propos d'un Univers élégant. Mais ils craignent la réalité comme l'oncle de Laughlin les chutes d'eau.

Une guerre civile s'est déclenchée dans le monde de la physique et le livre de Laughlin est une déclaration de guerre. Une parmi tant d'autres. Les physiciens des corps solides se battent contre les théoriciens des cordes, les cosmologistes contre les astronomes. Les blogueurs contre les prix Nobel, les Universités contre les Univers. Les adversaires s'injurient, diffament et dénigrent, volontiers en public. Leurs armes sont les livres, les blogs et les interviews.

On assiste depuis longtemps à de petites échauffourées entre physiciens. Mais l'étincelle qui a tout fait dégénérer a été l'affirmation de l'existence de nombreux autres Univers en dehors du nôtre : la théorie du multivers. S'agit-il encore de recherche sérieuse ou déjà d'ésotérisme ? Cette question menace la physique de scission.

Il en va des idéaux de la science, de la tradition de la physique et de l'astronomie. De la réputation des Universités, de la répartition des fonds de

recherche, de la nomination des professeurs. Il s'agit de savoir quelle réalité la physique décrit vraiment et si elle décrit encore une réalité. En résumé, il s'agit de savoir si les physiciens ne sont pas en train de dérailler.

DES PHYSICIENS STONES

Actuellement, il semble qu'on ne pourra jamais confirmer l'existence de mondes multiples par des observations. Cependant, la théorie du multivers est défendue par des professeurs chevronnés et cela donne du fil à retordre aux critiques. Galilée a autrefois fondé la physique moderne en observant le ciel. Depuis, chaque théorie a dû se mesurer à l'expérience. Les théories doivent être créées de manière à pouvoir être réfutées par des expériences ou des observations, exige le philosophe Karl Popper. Il appelle ce critère la réfutabilité. De nombreux physiciens sont aujourd'hui des disciples de Popper.

« *Le progrès de la science au cours des 400 dernières années repose sur quelques règles éthiques fondamentales dont fait partie la réfutabilité* », rappelle le physicien Lee Smolin. La loi de Popper sur la réfutabilité fondamentale devrait toujours être impérativement maintenue. Smolin, lui aussi, a publié une déclaration de guerre sous forme de livre : *The Trouble with Physics (Rien ne va plus en physique !)*. Un règlement de comptes avec la théorie des cordes, que Smolin tient pour excessivement surestimée (un théoricien des cordes allemand l'attaqua par la suite en affirmant que Smolin était incapable d'écrire une équation mathématique sans faire de faute). Le collègue de Smolin, Carlo Rovelli nous met en garde : « *La physique théorique tourne à la haute voltige intellectuelle. Elle ne s'occupe plus que d'elle-même et perd son rapport à la réalité.* » Le prix Nobel de physique David Gross pense que le multivers est une « *idée dangereuse* » qui dissuade les étudiants de faire de la physique. Et l'astronome américain Richard Lieu appelle même à supprimer les fonds de recherche des cosmologistes.

La colère est grande et en partie compréhensible. Parfois, le débat scientifique actuel ressemble à des associations d'idées nées sous l'influence de stimulants psychédéliques. Lawrence Krauss se demanda dans un article spécialisé si les observations astronomiques de l'Univers pouvaient raccourcir sa durée de vie. Si l'on décrivait l'Univers entier comme un atome unique grâce à la mécanique quantique, cela serait envisageable. Mais personne ne sait comment la mécanique quantique peut décrire l'ensemble du cosmos. Après avoir publié des articles à sensation dans la presse et s'être fait passer un savon par ses collègues, Krauss revint sur cette déclaration controversée.

D'autres chercheurs supposèrent qu'une région avec peu d'étoiles dans le ciel nocturne indiquait peut-être l'existence d'un Univers voisin, brièvement en rapport avec notre Univers après le Big Bang. Idiotie, jugèrent rapidement leurs collègues. Leonard Susskind publia un article sur les voyages dans le

temps, à propos duquel il écrivit lui-même plus tard un rectificatif sur Internet, après avoir découvert quelques erreurs : « *L'auteur n'avait aucune idée de ce dont il parlait* », avoua-t-il. C'est ainsi que fonctionne la plus ancienne de toutes les sciences à l'époque des post-modernes. *Anythinggoes*.

L'astronome munichois Günther Hasinger, spécialisé dans la radiographie compare cette situation au tirage du loto. « *Il existe un immense spectre d'idées qui va jusqu'au multivers. La probabilité que l'une d'entre elles soit vraie est faible.* » La théorie du multivers semble extrêmement spéculative, non vérifiable et totalement incompréhensible. Faut-il alors la mettre au rebut des théories ratées ? Peut-être doit-il en être ainsi pour faire avancer la physique.

LA MISSION DE PAIX DES PHILOSOPHES

Les philosophes, les sociologues et les historiens sont un peu à l'écart du champ de bataille. Ils ressemblent à des soldats des Nations unies en mission de paix : ils peuvent observer, mais pas tirer (sauf pour se défendre). Martin Carrier en fait partie. Il a écrit une biographie de Copernic et passé la moitié de sa vie de philosophe à se demander pourquoi certaines théories de physique s'imposaient et d'autres non. La communauté allemande de chercheurs lui a attribué pour cela le prix Leibniz. Carrier croit fermement à un Univers unique, mais pense que la théorie du multivers, malgré ses étranges assertions, est digne d'être discutée.

« *Il y a toujours des théories qui semblent invérifiables au début, mais finissent tout de même par remporter un jour de grands succès empiriques* », explique-t-il. Par exemple, la théorie de la Relativité générale « *dont nous ne pouvons vérifier l'idée de base, la géométrisation de la gravitation. Mais nous mesurons ses effets et croyons donc aussi à son principe de base. Nous croyons également l'assertion concernant ce qui se passe lorsqu'un astronaute tombe dans un trou noir, bien que nous ne puissions jamais vérifier cela de manière empirique.* »

Ou bien la notion d'atome : cette idée existe depuis les Grecs de l'Antiquité, mais ce n'est qu'au XX^e siècle qu'on a réussi à observer directement des atomes isolés. Cette idée jugée autrefois impertinente fait aujourd'hui partie de la culture générale : il faut tirer une leçon de l'histoire de l'hypothèse des atomes. Vers 1900, les chercheurs se disputaient encore âprement sur leur existence. Au centre des débats se trouvait autrefois le micromonde, mais les questions litigieuses étaient les mêmes que celles que soulève le multivers : à quel point les choses que nous ne pouvons jamais observer (atomes, mondes parallèles) sont-elles réelles ? Si nous ne pouvons pas les voir directement, devrions-nous nous fier à des indices indirects ? S'il n'existe même pas d'indices indirects, les scientifiques peuvent-ils tout de même en parler ? Où finit la physique, où commence la métaphysique ?

Les écrits d'Aristote ont toujours été organisés de telle sorte que les

volumes de philosophie générale sont placés après ses écrits sur la physique. Depuis, on parle de métaphysique lorsqu'il s'agit du fondement de la réalité, de la base de tout être (*meta* est l'ancien grec pour *au-delà, après*). Emmanuel Kant tenta dans la *Critique de la raison pure* de réconcilier physique et métaphysique, savoir empirique et connaissances de la raison. D'après lui, le travail était de plus en plus divisé : les physiciens faisaient de la physique, les philosophes de la métaphysique. Les deux parties avaient peu de sujets de discussion. Lorsque Lee Smolin exhorta le prophète du multivers Leonard Susskind à écouter le philosophe Karl Popper, Susskind grogna : « *Une bonne pratique scientifique ne suit aucun des règlements abstraits que nous prescrivent les philosophes. La science est le bœuf qui tire la charrue de la philosophie. Ne mettons pas la charrue avant les bœufs.* »

Pendant les époques agitées, les physiciens se mettent tout de même à la philosophie. « *Des physiciens-philosophes apparaissent toujours dans les moments où la physique devient intéressante et trop difficile pour les physiciens* », écrit le philosophe Erhard Scheibe dans son livre *Die Philosophie der Physiker* (La philosophie des physiciens). Au grand regret des philosophes professionnels, ceux-ci bricolent le plus souvent leur propre philosophie. Lorsque Niels Bohr participa au développement de la mécanique quantique, il effraya les philosophes professionnels avec son interprétation du monde aux formules alambiquées. Wolfgang Pauli, théoricien quantique, prends ses distances avec les « *écoles philosophiques au nom en "isme"* ». Albert Einstein recommanda un mélange de trois courants philosophiques peu connus pour faire bon ménage : l'idéalisme, le positivisme et le réalisme.

Dans les débats sur le multivers, les idées provenant de ces trois courants de pensée entrent également en collision. Il n'est pas étonnant que la discussion soit chargée émotionnellement. C'est comme si l'UMP, le PS et le MoDem essayaient de fonder un parti commun.

Vers 1800, le philosophe Friedrich Wilhelm Joseph von Schelling parvint à altérer durablement la relation entre physiciens et philosophes. Il pensait que le meilleur moyen d'étudier la réalité était la réflexion et plaçait la métaphysique au-dessus de la physique. Le vrai scientifique ne se salit pas les mains, il reste assis dans son fauteuil près de la cheminée, les pieds sur la table, et réfléchit. En cela, le noble Schelling ressemblait à l'oncle de Robert Laughlin. Schelling publia avec Hegel une revue de physique spéculative (*Zeitschrift für spekulative Physik*) dont le programme était la connaissance par l'inspiration, ce que les philosophes appellent l'idéalisme.

Les scientifiques y firent une réaction allergique. Pour eux, « *métaphysique* » devint une insulte, synonyme de spéculatif, douteux et non scientifique. « *Regardez seulement les philosophes actuels, Schelling, Hegel et consorts* », écrivait le mathématicien Carl Friedrich Gauss en 1844 à un ami en se plaignant de leur « *embrouillement dans les concepts* ». « *De telles définitions ne vous font-elles pas dresser les cheveux sur la tête ?* » Le physicien viennois Ludwig Boltzmann s'étonnait publiquement du « *verbiage confus et*

irréfléchi » des écrits de Hegel et attendait avec espoir une époque où l'« *humanité serait libérée de la migraine intellectuelle qu'on appelle métaphysique.* »

Les positivistes, un groupe de philosophes et de physiciens dont le quartier général se trouvait à Vienne et qui suivait vers 1900 un contre-courant radical à l'idéalisme, se présentèrent comme les rédempteurs de la métaphysique et de l'idéalisme. Leur credo : le monde est ce que nous pouvons connaître par nos sens. Les atomes et les Univers parallèles n'ont pas leur place dans cette vision du monde. On ne peut parler que de ce que l'on peut voir. La science ne devrait s'appuyer que sur les perceptions et ne pas faire d'hypothèses métaphysiques inutiles sur le monde. Ernst Mach, un collègue plus âgé de Ludwig Boltzmann à l'Université de Vienne, était l'un des représentants les plus fervents du positivisme. Dans la querelle au sujet de l'existence des atomes, il demandait constamment à ses adversaires : « *Vous en avez déjà vu un ?* »

Mach faisait souvent des expériences sur le stand de tir et étudiait les ondes sonores des projectiles et des avions. Mais il publiait également de nombreux travaux sur la théorie des connaissances et la psychologie sensorielle, participait à la campagne électorale pour les sociaux-démocrates et débattait avec Boltzmann à l'académie de Vienne de la réalité des atomes. Pour lui, seuls comptaient les phénomènes immédiats, c'est-à-dire les données mesurées comme la pression d'un gaz ou la température d'un liquide. Les théories sur le monde devaient être économes et ne postuler aucune hypothèse inutile. Cela valait aussi bien pour le microcosme que pour le macrocosme, pour l'atome que pour le cosmos. « *L'Univers n'a pas de temporalité* », écrivit Mach, alors que les physiciens spéculaient à l'époque sur une fin possible de l'Univers. L'hypothèse n'était « *pas scientifique* », car on ne devrait interpréter le temps que comme une relation des parties de l'Univers entre elles, non valable pour l'Univers dans son ensemble.

Le positivisme était cohérent, mais l'interdiction qu'il faisait de penser ne le rendait pas très populaire. Boltzmann ne se laissa pas convertir par Mach. Il préféra une troisième voie, entre l'idéalisme et le positivisme : le réalisme scientifique, jusqu'à présent la théorie philosophique favorite de nombreux physiciens. Le réaliste scientifique est convaincu que la science décrit une réalité indépendante de la perception. Pour Boltzmann, les atomes étaient aussi réels que les tables et les chaises. La physique se rapproche de plus en plus de la vérité, ses théories représentent la réalité. Un jour, elles révéleront entièrement la véritable essence de la nature.

Lorsque son collègue Josef Loschmidt mourut, Boltzmann tint un discours commémoratif d'un réalisme impitoyable. Le corps de Loschmidt s'est maintenant désintégré en atomes, dit-il, mais grâce à Loschmidt on sait en combien d'atomes il s'est désintégré. Il avait fait écrire le chiffre au tableau : 10^{25} , dix quadrillions. « *Ce chiffre est bien sûr arrondi* », ajouta Boltzmann avec pragmatisme, « *le moindre poil ajouterait des billions d'atomes.* »

Le 6 septembre 1906, à l'âge de 62 ans, pendant les vacances d'été, Ludwig Boltzmann se pendit à la croisée de la fenêtre de son hôtel. Il n'aurait pas supporté que son hypothèse sur les atomes ne soit pas reconnue, raconta-t-on plus tard. Mais Boltzmann avait déjà connu suffisamment de difficultés au cours de sa vie : depuis la mort de son fils de onze ans, il était devenu maniacodépressif, souffrait d'asthme, de maux de tête et d'une myopie extrême.

C'est Albert Einstein en personne qui réussit à faire admettre la théorie de l'atomisme. Un an après le suicide de Boltzmann, il avait développé une théorie du mouvement brownien, qui constituait une preuve indirecte de l'existence des atomes. D'après celle-ci, les mouvements aléatoires microscopiques du pollen que le botaniste écossais Robert Brown avait observés dans un liquide sont causés par la collision de particules minuscules : les atomes ou les molécules.

Lorsqu'Ernst Mach mourut en 1916 près de Munich, aucun physicien n'avait encore « vu » d'atome, mais tous y croyaient. Einstein raconta plus tard qu'en 1910, lors de leur unique rencontre personnelle, Mach aurait reconnu que dans certaines circonstances, la supposition de l'existence des atomes pouvait être sensée.

Et Einstein lui-même ? Était-il donc positiviste, réaliste ou idéaliste ? Un peu des trois.

« *Le physicien* », disait Einstein, « *paraît réaliste dans la mesure où il cherche à représenter un monde indépendant des actes de la perception, idéaliste dans la mesure où il considère les concepts et théories comme des inventions libres de l'esprit humain (non déductibles logiquement d'événements empiriques) et positiviste dans la mesure où il ne considère ses concepts et théories comme étant justes que si elles fournissent une représentation logique des rapports entre les expériences sensorielles.* » Einstein donnait également un nom à cet assemblage philosophique : l'opportunisme sans scrupule.

En 1955, on eut la preuve directe de l'existence des atomes. À l'institut Fritz Haber de Berlin, le physicien Erwin Müller avait inventé le microscope ionique à champ, qui lui permit de zoomer pour agrandir des millions de fois la surface de métaux. Il passa de nombreuses années à améliorer la résolution de l'instrument. Ses efforts furent récompensés. Lorsqu'il alluma son microscope par une chaude journée d'août 1955, il put soudain reconnaître des atomes isolés. Pour la première fois, un homme avait « vu » un atome.

La confirmation de l'hypothèse des atomes est un exemple type du succès du réalisme scientifique. Mais la physique moderne n'a pas rendu la vie facile au réalisme. Et le multivers est son plus grand défi.

DES PARTICULES AU MULTIVERS

Imaginez que vous laissiez tomber un piano du quatrième étage sur un

deuxième piano posé par terre et que vous deviez déduire du bruit provoqué l'existence de la note *fa*. La physique des particules fonctionne à peu près de cette manière.

Les accélérateurs de particules bombardent les noyaux atomiques et cherchent dans les fragments de nouvelles particules. Le modèle standard de la physique des particules contient 18 éléments du monde, dont également les plus petites particules : les électrons, les neutrinos et les quarks. L'ensemble de la matière et de l'énergie normale du monde est composé de ces éléments : les atomes sont constitués d'électrons et de noyaux atomiques, les noyaux atomiques, de protons et de neutrons, les protons et neutrons, de trois quarks chacun. Il n'existe rien de plus petit que le quark ou l'électron. 17 des éléments fondamentaux sont considérés comme étant « découverts », le plus grand accélérateur de particules, le *Large Hadron Collider* (LHC) situé à Genève, une machine qui fait les gros titres dans le monde entier parce qu'elle risquerait de créer des micro trous noirs, cherche la 18^e et dernière particule du modèle standard.

Mais lorsque des physiciens annoncent au cours d'une conférence de presse (comme en 1995) la découverte du quark *top*, le plus lourd des six quarks, que faut-il comprendre ? Cher public, nous avons fait exploser des noyaux atomiques pendant plusieurs années dans un accélérateur de particules de plusieurs kilomètres de long et mesuré les débris de particules issus des collisions avec des détecteurs hauts comme des immeubles. Nous n'avons certes pas pu voir le quark *top* directement, mais nous avons décelé d'autres particules élémentaires comme les électrons et les muons qui pourraient provenir de la collision de quarks *top*. Nous ne pouvons pas vous montrer de photo du quark *top*, mais vous devez croire qu'il était vraiment présent pendant quelques fractions de seconde, car notre théorie prédit quelles traces laisse le quark *top* et nous faisons confiance à notre théorie, car elle s'est souvent révélée exacte. Le quark *top* existe-t-il vraiment ? Est-il aussi réel que la Lune ou n'est-il qu'une fiction nécessaire ? Il existe, affirment les réalistes. Mais avant d'écrire un communiqué de presse sur cette découverte, beaucoup de suppositions entrent en jeu dans l'interprétation des données, par exemple concernant le mode de fonctionnement d'un accélérateur de particules ainsi que la validité de la théorie. Les physiciens ont besoin de la métaphysique.

Ce n'est plus aussi facile qu'au temps de Galilée, lorsque la lumière réfléchie de la lune de Jupiter parvenait directement à travers le télescope dans l'œil de Galilée. Mais est-ce différent d'observer la nature à travers un télescope ou à travers un accélérateur de particules ? Un télescope peut également déformer la réalité. Lorsque l'astronome Francesco Sizi apprit la découverte de Galilée, il réagit comme un positiviste : « *Les lunes sont invisibles à l'œil nu et ne peuvent donc avoir aucune influence sur la Terre, c'est pourquoi elles sont inutiles et n'existent pas.* » L'astronome Giulio Libri se refusait même par principe à regarder à travers un télescope. Après la mort de Libri, Galilée se moqua de lui en disant que maintenant, Libri pourrait

enfin voir les lunes de Jupiter, sur le chemin qui mène au ciel.

À quel point le multivers est-il réel ? Vrai comme la Lune ? Réel comme un atome ? Évident comme le quark *top* ?

Après qu'Einstein eut expliqué le mouvement brownien par l'hypothèse des atomes, il ne restait plus qu'à attendre que les microscopes soient suffisamment précis pour pouvoir vraiment les observer. Au XIX^e siècle, Robert Brown n'aurait pas osé en rêver. Mais les progrès de la physique expérimentale dépassent les imaginations les plus audacieuses. On s'habitue à ce que de meilleurs appareils apportent de plus en plus de connaissances. L'optimisme des physiciens des particules s'est également longtemps basé sur l'espoir que le prochain appareil serait plus long de quelques kilomètres et découvrirait la prochaine particule. La vérité coûte cher.

Le multivers est différent. La preuve de l'existence d'un Univers parallèle n'est pas un défi technique. On ne pourra pas voir les mondes voisins même avec les télescopes les plus perfectionnés. Les rayons lumineux ne passeront jamais d'un monde à l'autre.

Les théoriciens du multivers misent donc sur un procès qui se fonde sur des indices. Leur argument est le suivant : nous ne pourrions certes jamais observer directement les Univers parallèles ni les découvrir grâce à des indications indirectes. Mais si une théorie du multivers coïncide dans notre propre Univers avec nos observations et prédit d'autres Univers, pourquoi ne pas prendre au sérieux ces assertions sur d'autres mondes ? « *On ne devrait pas sous-estimer les preuves indirectes* », affirme Andreï Linde. « *C'est ainsi que fonctionne notre système juridique. Lorsqu'un assassinat a lieu, on laisse le juge décider si l'hypothèse de meurtre est la seule explication.* » Si la théorie du multivers permettait au moins d'expliquer notre Univers, il faudrait bien lui faire confiance.

La théorie du multivers possède une grande superstructure métaphysique, mais ça ne la rend pas ésotérique pour autant. « *Aujourd'hui, on ne fait plus une stricte distinction entre science et métaphysique, comme on l'exigeait autrefois* », pense le philosophe Martin Carrier. Il existe d'autres critères de distinction entre une bonne et une mauvaise science. Lorsque par exemple une nouvelle théorie explique des expériences auparavant incomprises ou prédit des phénomènes nouveaux, on lui accorde de la confiance. Mais il existe de nombreux problèmes : la théorie des cordes, qui a déclenché la dernière guerre du multivers, ne convient même pas à notre propre monde, elle n'a aucune conséquence vérifiable dans notre Univers. Aucun meurtre n'a donc encore été commis. La mécanique quantique, qui offre une interprétation des mondes multiples, peut certes également décrire extrêmement bien le monde des atomes, mais n'a encore eu aucun succès dans la description de l'Univers entier. « *Sur la base des données obtenues jusqu'à présent, le juge déclarerait l'accusé innocent* », selon l'astronome Richard Lieu.

La police des philosophes approuve. « *La physique théorique et la physique*

expérimentale se sont beaucoup éloignées l'une de l'autre », affirme la philosophe des sciences de Dortmund et ancienne physicienne Brigitte Falkenburg. « C'est une nouvelle situation dans la science et peut-être aussi un symptôme de la crise. Le concept du multivers est à la limite de la science. Il peut encore être formulé mathématiquement, mais il effleure également le domaine de la science-fiction. » Le concept de multivers ne fait certainement plus partie de la science telle qu'on la pratiquait auparavant. Mais la crise provient peut-être de ce que la science traditionnelle ne suffit plus pour comprendre le monde comme un tout. Quelle science va la remplacer ?

Les disciples du multivers ont un plan B : le *principe anthropique*, un programme de recherche extrêmement controversé. Le principe anthropique tente de faire de la théorie du multivers une théorie qui produit des prédictions vérifiables, comme les physiciens y sont habitués avec leurs théories. Certains scientifiques voient dans le principe anthropique la fin de la physique. Pour d'autres, au contraire, c'est un nouveau début.

L'HUMANISATION DE L'UNIVERS

Le principe anthropique a été introduit en 1973 par le physicien australien Brandon Carter. Carter prit part à une conférence à Cracovie pour le 500^e anniversaire de Copernic. Il discuta pendant sa présentation l'une des grandes questions avec lesquelles les scientifiques se débattent depuis les Lumières : pourquoi l'Univers est-il tel qu'il est ? Pourquoi les lois et les constantes de la nature sont-elles telles qu'elles permettent la création des étoiles, des planètes et enfin également de la vie ? Si certaines constantes de la nature telles que la constante de gravitation ou la vitesse d'expansion de l'Univers divergeaient seulement de quelques millièmes à quelques centièmes de leur valeur, les atomes n'auraient jamais pu se former après le Big Bang, sans parler des étoiles et des planètes. Il semble que l'Univers ait été réglé en vue de notre existence. Un réglage cosmique de précision. Il y a des siècles, c'était également la réponse naturelle à l'énigme de notre existence : c'est ainsi, parce que Dieu l'a créé ainsi. Ce qui n'est pas une réponse satisfaisante pour les scientifiques.

À Cracovie, Carter formula une autre explication. Bien sûr, l'Univers semble avoir été créé pour nous. Il doit en être ainsi, car sinon nous ne serions pas là pour nous étonner de notre existence. Si la force de l'énergie noire était plus puissante qu'elle ne l'est, si l'espace s'était dilaté beaucoup trop vite, les nuages de gaz qui se sont rassemblés après le Big Bang pour former des galaxies et des étoiles n'auraient pas existé. Pas d'étoiles, pas de planètes, pas d'êtres vivants. En revanche, chaque Univers produisant de la vie intelligente doit forcément sembler taillé sur mesure aux observateurs. Carter parla de principe « anthropique » (du grec *anthropos* qui signifie homme) parce qu'il associe les propriétés de l'Univers à l'existence d'un

observateur conscient.

Depuis la conférence de Carter, les physiciens et les philosophes se disputent pour savoir si le principe anthropique est une banalité, un ersatz de religion ou bien un véritable principe de recherche pertinent (plus de détails dans le chapitre 14). Après que les physiciens et les philosophes eurent discuté d'innombrables variations sur le principe anthropique, un plaisantin y ajouta le *Completelyridiculousanthropicprinciple*, abrégé en Crap (merde en anglais). Cela correspondait à l'opinion générale. Le principe anthropique faisait trop cas de l'humanité pour de nombreux scientifiques.

Le cosmologiste Andreï Linde se souvient que cet « *adjectif en a* » resta longtemps tabou. « *Dans les années 1980 et 1990, nous étions une minorité absolue* », explique Linde. Lorsqu'il voulut faire une conférence sur le principe anthropique devant des physiciens des particules, les organisateurs l'avertirent : « *Ces gens vont vous lancer des tomates.* » Aujourd'hui, les conférences de Linde sont applaudies. Le fait que la théorie des cordes décrive peut-être plus de 10^{500} Univers différents a donné de nouveaux adeptes au principe anthropique, mais également de nouvelles critiques.

Depuis l'an 2000, plus de 200 articles mentionnant le principe anthropique sont parus dans la bibliothèque Internet des physiciens *arxiv.org*. Les tenants du multivers espèrent que le principe anthropique puisse aider à trouver dans la diversité infinie des Univers ceux dans lesquels la vie est possible. Et alors, il sera peut-être possible de déduire de la théorie du multivers des prédictions concrètes pour notre Univers, comme l'exigent les critiques, par exemple concernant la vitesse précise de son expansion ou la composition du cosmos.

Le défi consiste à trouver parmi les 10^{500} solutions de la théorie des cordes celle qui décrit exactement notre Univers. Ce serait un début. Ensuite, cette théorie du Tout nous permettrait de faire les calculs correspondants à notre Univers et de comparer ces calculs à la réalité. Le problème est que même si tous les physiciens de ce monde ne mettaient que dix secondes pour effectuer les calculs correspondants à un Univers à partir d'une théorie du Tout, l'intervalle de temps entre le Big Bang et aujourd'hui ne serait pas suffisant pour tester les 10^{500} solutions et trouver celle correspondant à notre Univers. Et c'est là qu'entre en jeu le principe anthropique : des scientifiques comme Andreï Linde, Alexander Vilenkin et Leonard Susskind espèrent délimiter la recherche grâce à lui. L'idée est la suivante : on calcule quelles sont les constantes et les lois de la nature qui permettent à un Univers de produire des atomes, des étoiles, des planètes et enfin de la vie. Puis, on cherche dans les 10^{500} solutions de la théorie des cordes chaque sous-groupe de mondes « *anthropiquement acceptables* » (Susskind), dans lesquels les lois et les constantes de la nature permettent la vie. On n'a plus besoin de tester chaque théorie du Tout et on espère pouvoir sélectionner ou exclure des classes entières de mondes. Le principe anthropique serait ainsi une aide pour venir à bout statistiquement du nombre impressionnant de mondes possibles.

« Le système anthropique est un outil efficace pour exclure la plupart des solutions potentielles pour notre Univers », affirme Susskind. Mais il met également en garde contre les attentes démesurées. « Cela ne nous aidera pas à prédire dans lequel [des Univers hospitaliers à la vie] nous vivons. » Le collègue de Susskind, Andreï Linde, approuve : « Le principe anthropique n'est pas une arme Universelle, mais un outil Universel. On peut l'aimer ou le détester, mais je parie que tout le monde l'utilisera un jour. » Selon Stephen Hawking : « On en a besoin pour trouver parmi le fouillis des solutions possibles de la théorie des cordes celle qui représente notre Univers ». Susskind exulta : enfin, Hawking et lui étaient du même avis.

La critique ne se fit pas attendre. Le principe anthropique « ne doit être que l'ultime solution », prévient l'inventeur de la théorie de l'inflation, Alan Guth. « Le rêve de comprendre l'Univers à partir de la seule déduction logique tomberait à l'eau avec lui. » Lawrence Krauss prophétise : « Les physiciens s'amuse avec le principe anthropique en attendant de trouver la théorie du Tout. Ils le laisseront tomber comme une vieille chaussette dès que cette théorie sera en vue. » Pour le théoricien des cordes Gabriele Veneziano, le principe anthropique évoque l'histoire de l'ivrogne qui cherche ses clés la nuit sous un lampadaire parce qu'il y fait plus clair alors qu'il les a perdues à un tout autre endroit. Le prix Nobel David Gross ne veut même pas en discuter : « Je déteste ça », dit-il à propos des arguments anthropiques. « Les théoriciens des cordes sont comme moi, frustrés de ne pouvoir prédire que si peu de choses après toutes ces années. Mais ce n'est pas une excuse pour une science si bizarre. C'est une affaire dangereuse. »

À l'abri ! On va encore tirer.

Le philosophe Reiner Hedrich de l'Université de Dortmund observe depuis longtemps la guerre du multivers. Son étude de 400 pages *Von der Physik zur Metaphysik* (De la physique à la métaphysique) se trouve désormais sur les rayons des bibliothèques Universitaires. Hedrich explique : « La théorie du multivers est raisonnable dans sa logique, mais pas suffisamment pour être scientifique. » Ce programme de recherche lui fait penser à celui des Présocratiques dans la Grèce antique : « une réflexion métaphysique sur la nature » et la théorie des cordes serait « une métaphysique de la nature inspirée des mathématiques ». 2 500 ans après que les Grecs de l'Antiquité eurent tenté d'interpréter l'Univers sans avoir recours aux Dieux, la science semble être revenue à son point de départ.

Hedrich y voit le signe d'un problème fondamental : « Peut-être n'a-t-on pas seulement pris la mauvaise bifurcation du bon chemin, mais peut-être est-ce le chemin tracé par le programme de l'unification qui n'est pas le bon. Peut-être la nature ne forme-t-elle pas d'unité, même à son niveau le plus fondamental. Mais peut-être que l'idée d'un niveau le plus fondamental est également tout à fait inappropriée. »

Peut-être. Mais peut-être pas. En tout cas, les philosophes non plus ne savent pas comment continuer. Quoi qu'il arrive, n'abandonnons pas,

recommande Hedrich. « *Tant que personne n'a une meilleure idée, il faut continuer d'essayer comme ça.* »

12

Multivers pour lecteurs avancés

Laisse-moi te dire pourquoi tu es ici. Tu es venu parce que tu sais quelque chose. Tu as un savoir qui t'habite, mais tu ne te l'expliques pas. Tu l'as toujours ressenti, ressenti que le monde ne tournait pas rond. Tu ne sais pas quoi, mais c'est là, comme une écharde dans ton esprit. Ça te rend fou. C'est ce sentiment qui t'a mené jusqu'à moi.

Morpheus parle à Neo dans le film *Matrix*, 1999

Le multivers est un paradis pour les physiciens à l'esprit paresseux. Le grand mystère de la physique « *Pourquoi le monde est-il ainsi et pas autrement ?* » s'évanouit. Le monde est ainsi et il est autrement, de toutes les manières imaginables. Nous voyons notre coin dans le multivers exactement tel qu'il est parce qu'il doit être ainsi afin que nous puissions y vivre et l'observer. S'il était différent, nous ne serions pas ici pour poser des questions. C'est le principe anthropique.

Ça ne semble pas être un mauvais marché : certes, il y a davantage de mondes. Mais la vision du monde est simplifiée. Les Univers multiples remplissent ce qui semblait jusqu'ici être une lacune dans l'explication théorique. Selon la théorie des mondes multiples de la physique quantique, tout ce qui est permis par la mécanique quantique est possible. Dans le multivers cosmologique, c'est en revanche la théorie des cordes qui fixe les règles.

Mais est-ce déjà la solution de l'énigme ou seulement son ajournement ? Qui affirme que la mécanique quantique ou la théorie des cordes fournissent les bonnes conditions générales ? Le vieux mystère sur la nature du monde change seulement d'échelle : pourquoi le multivers est-il ainsi et pas autrement ?

La solution radicale est de déclarer la question absurde : le multivers n'a pas de cadre théorique, l'espace n'a donc pas de bord. Ni la mécanique quantique, ni la théorie des cordes, ni l'inflation éternelle ne sont des modèles pour les Univers parallèles. Seule la logique peut leur servir de modèle. Tout ce qui est logique existe.

On peut considérer cette réponse avec scepticisme, car on peut aussi exagérer avec la diversité des mondes. Mais c'est une idée naturelle. Si tous les mondes possibles existent vraiment, cela règle la question de savoir

lesquels existent et lesquels n'existent pas. La théorie des cordes et la mécanique quantique peuvent être justes dans notre coin du multivers, mais, qui sait, dans d'autres régions, d'autres théories fondamentales complètement différentes peuvent s'appliquer. Personne n'a plus besoin de chercher la mère de toutes les théories si à chaque formule mathématique correspond un monde. Allons jusqu'au bout du raisonnement : la science a-t-elle encore un sens ?

LE SUÉDOIS RADICAL

Même parmi les tenants des multivers, peu osent franchir cette dernière étape. Le cosmologiste américano-suédois Max Tegmark en fait partie. Il croit à l'idée de la « *démocratie mathématique* » : chaque Univers décrit par une équation mathématique existe. « *L'existence mathématique est égale à l'existence physique* », explique Tegmark. *Anythinggoes*. C'est le niveau IV, le plus haut niveau de difficulté dans notre jeu vidéo des multivers.

Si les théories habituelles du multivers sont audacieuses, le multivers mathématique est une spéculation complètement folle. « *Que se passerait-il si le temps ne passait pas de manière continue, mais en bonds saccadés ?* », demande Tegmark. « *Ou bien avec un Univers qui serait un simple dodécaèdre vide ?* »

Tegmark sait à quel point il s'éloigne de la cosmologie établie avec de telles constructions intellectuelles. Il a toujours été anticonformiste. À l'école, il avait un ami qui faisait tout différemment par principe. Alors que tout le monde utilisait des enveloppes rectangulaires, il en bricolait des triangulaires. « *Je voulais être comme lui* », confie Tegmark. Mais ce n'était pas si simple. Étudiant, il a été assez désorienté. Il étudia d'abord les sciences économiques en Suède, puis tomba sur les livres du génie de la physique et conférencier américain Richard Feynman. « *Il s'agissait d'arriver à ouvrir des serrures et à séduire les femmes* », raconte Tegmark, « *et entre les lignes se trouvait le message "J'aime la physique"*. » Il avait trouvé sa vocation.

Mais son originalité ne fonctionna pas du premier coup. Tegmark écrivit un article spécialisé sur le multivers mathématique, mais il le mit de côté jusqu'à ce qu'il obtienne une place de postdoctorant à l'Université de Princeton. Alors, il envoya le manuscrit aux rédactions. Trois magazines le refusèrent. Finalement, il tenta sa chance auprès des *Annals of Physics*. Cette fois, l'expert dont la rédaction avait demandé l'avis s'exprima en faveur de la publication, mais les éditeurs refusèrent malgré tout de l'imprimer. « *C'était trop spéculatif pour eux* », raconte Tegmark. John Wheeler, professeur de Tegmark à Princeton et personnalité du monde de la physique, intervint. Dans les années 1950, Wheeler avait déjà aidé son doctorant Hugh Everett à faire découvrir aux spécialistes sa théorie extravagante des mondes multiples de la physique quantique. Cette fois encore, sa voix eut du poids. Les éditeurs

se laissèrent convaincre et publièrent l'article de Tegmark.

Cela n'aida guère sa carrière. Un collègue plus âgé l'avertit qu'il mettait en jeu sa réputation avec de telles idioties. Alors, il s'habitua à ce qu'il appelle sa « *stratégie du Dr Jekyll et Mr Hyde* » : chaque fois qu'une nouvelle étape était à l'ordre du jour dans sa carrière, il mettait en avant ses travaux conventionnels (l'analyse des observations des satellites pour l'astronomie) et réprimait discrètement sa passion pour la philosophie. Il obtint finalement une chaire au Massachusetts Institute of Technology. On ne peut guère s'élever davantage dans une carrière de physicien. Maintenant, « *Mad Max* » Tegmark donne des cours sur la théorie de la Relativité en chantant et en s'accompagnant à la guitare. Sur son site, il montre ses photos de mariage et une chasse aux souris dans sa propre maison. Et parle à nouveau ouvertement du multivers mathématique.

MATRIX : PAS SEULEMENT À HOLLYWOOD

À première vue, le multivers mathématique ne semble pas être un progrès fondamental, mais seulement un nouvel ajournement. Auparavant, une théorie physique servait de calque pour le multivers, maintenant ce sont les mathématiques qui jouent ce rôle. Mais il y a là une différence importante : les propositions mathématiques sont absolues d'une manière que les théories physiques ne pourront jamais atteindre. On reconnaît si elles sont vraies ou fausses en les prouvant ou en les réfutant. Ni laboratoire, ni instrument de mesure ne sont nécessaires. En revanche, une proposition qui a été prouvée une fois est reconnue comme vraie de manière irrévocable alors qu'aucune puissance au monde ne peut rendre vraie une proposition qui a été réfutée une fois.

Les mathématiques constituent un cadre digne pour une vision du monde Universelle. Leurs vérités sont éternelles. Et elles sont valables de manière certaine jusque dans les coins les plus reculés du multivers. Si nous prenons un jour contact avec des formes de vie extraterrestres, il nous faudra compter sur toutes les difficultés de communication possibles : les autres pourraient être beaucoup plus intelligents que nous, ou beaucoup plus bêtes, avoir des manières tout à fait différentes des nôtres et personne ne peut prévoir s'ils étudient la nature comme nous. Mais nous aurons un sujet de discussion : « *Notre point commun culturel le plus sûr serait les mathématiques* », affirme l'astronome sir Martin Rees.

Autre chose prédestine les mathématiques au statut de langue Universelle : leur « *efficacité inexplicable* » dans la description de la nature, comme le formula le prix Nobel de physique américain Eugene Wigner. Bien que les mathématiques soient une entreprise plutôt coupée des réalités, les constructions de pensée que les mathématiciens inventent dans leurs petites salles d'étude semblent avoir été faites pour ordonner le désordre du monde.

Les mathématiques sont tellement utiles à la physique que Wigner trouve cela suspect. « *Un miracle* », s'étonne-t-il.

Si Max Tegmark a raison, alors ce n'est pas un miracle, alors la nature *est* mathématique. Tegmark n'est pas le premier à y penser. *Tout est nombre*, pensaient les Pythagoriciens. On ne sait pas exactement ce qu'ils entendaient par là. Ce qui est sûr, c'est qu'ils considéraient les nombres comme le fondement du monde matériel, peut-être comme des éléments constitutifs, peut-être comme un principe d'ordre.

Parmi les scientifiques actuels, certains considèrent le cours du monde comme un processus mathématique. Le philosophe Nick Bostrom en fait partie. Il pense que notre monde est peut-être en réalité une simulation informatique exécutée sur l'ordinateur d'une civilisation extrêmement développée.

Bostrom a plusieurs points communs avec Tegmark. Lui aussi est d'origine suédoise, lui aussi était un excellent élève, mais tout sauf un bûcheur. Il s'essaya à la peinture, à la poésie et à la comédie à Londres, étudia en plus de la philosophie un peu de physique, de logique, de neurologie et s'intéressa à l'intelligence artificielle. Il a maintenant une chaire à l'Université d'Oxford et laisse s'épanouir pleinement le Mr Hyde en lui. Il est l'un des pionniers du transhumanisme et il œuvre pour surmonter les limites naturelles de l'espèce humaine par la technique. Il veut équiper nos corps de prothèses robotiques, les plonger en hypothermie jusqu'à ce qu'arrive l'Âge d'or et sauvegarder nos âmes sur ordinateur.

Bostrom pense qu'il est probable que nous vivions tous dans une immense simulation informatique. Si c'est vrai, alors tout ce qui nous entoure serait constitué de bits et d'octets. Ce livre. Le Soleil, la Lune et les étoiles. Les êtres que nous aimons et nous-mêmes. Comment pourrions-nous le remarquer ? Distinguerions-nous en y regardant de plus près une danse de zéros et de uns ? Sûrement pas, car nous ne voyons pas les logiciels, mais ce qu'ils simulent. Le film hollywoodien *Matrix* montrait en 1999 comment un programme informatique pouvait nous donner l'illusion d'une fausse réalité. Il a esquissé le scénario catastrophe d'une humanité retenue prisonnière par ses propres créatures-machines dans un monde irréel. Si la simulation est bien programmée, il n'y a aucune échappatoire.

DANS L'AQUARIUM DE LA SUPERINTELLIGENCE

Mais peut-être existe-t-il d'autres façons de découvrir si nous sommes des personnages de jeu dans un programme informatique. Même les meilleurs développeurs de logiciels font des erreurs, même la puissance de calcul des ordinateurs les plus performants a ses limites. Si les programmes relativement modestes de Microsoft et consorts buggent parfois, on peut s'attendre à ce que cela arrive aussi dans la simulation d'un monde aussi

compliqué que le nôtre, avec chaque scintillement de soleil sur les mers de milliards de planètes. Peut-être que le cours du monde avance par à-coups d'avant en arrière lorsque le processeur est débordé. Peut-être que les lois de la nature changent lorsque les superprogrammeurs installent une mise à jour du logiciel.

Il existe des indices qui montrent que les lois de la nature sont vraiment variables : la constante de structure fine, une constante de la nature déterminante pour la stabilité des atomes pourrait avoir fluctué de quelques millièmes depuis le Big Bang. Les astrophysiciens lisent cela dans la lumière primitive des corps célestes très éloignés. Les superprogrammeurs devraient-ils corriger là une faute de frappe ?

Pour une civilisation très avancée, il serait en tout cas facile de programmer une telle simulation, pense Bostrom. Parce qu'il est sûr que l'humanité elle-même en arrivera là un jour, il pense également qu'il existe plus de simulations comme celles-ci que de civilisations réelles. Beaucoup plus. Avec une probabilité de près de 100 %, nous nous trouvons dans une simulation et non une civilisation originale. Il est fort possible que notre Univers décore le salon d'une famille extraterrestre superintelligente tel un aquarium. De toute façon, ça ne change rien pour nous, explique Bostrom. Mais cela explique pourquoi le monde nous semble tellement mathématique.

Les concepts des deux Suédois Tegmark et Bostrom s'assemblent au mieux. « *Les calculs mathématiques ne sont qu'une forme spécifique de structures mathématiques* », explique Tegmark. La simulation qui nous crée ne devrait même pas obligatoirement être exécutée par un ordinateur. La simple possibilité suffit. « *Une simulation existerait-elle "davantage", si elle était exécutée par un ordinateur ?* », demande-t-il. Peut-être sommes-nous des êtres purement potentiels, qui mènent une vie potentielle sur une Terre potentielle. Une idée perturbante.

Le multivers mathématique est la théorie des mondes multiples pensée jusqu'au bout. Il existe maintenant tout ce qui peut exister. Les lacunes dans l'explication que laisse obligatoirement chaque théorie physique sont comblées. « *Un mathématicien à l'intelligence infinie pourrait déduire toutes les propriétés du multivers* », affirme Tegmark.

Nous sommes donc hors-jeu, car nous ne sommes pas infiniment intelligents. Au contraire, nous sommes des êtres complètement finis. Nous pouvons certes décrire l'infini par nos théories mathématiques, mais les théories ont elles-mêmes une forme finie : elles sont constituées d'un nombre fini d'assertions, d'un nombre fini de symboles. C'est trop peu pour le multivers mathématique. Le mathématicien autrichien Kurt Gödel prouva en 1931 son célèbre théorème d'incomplétude, un jalon dans l'histoire des idées : nous ne pourrions jamais saisir complètement la réalité mathématique par nos moyens formels. Dès que les mathématiciens ont formulé une théorie suffisamment puissante pour contenir l'arithmétique, le théorème d'incomplétude de Gödel permet de construire une assertion vraie qui, selon

les règles usuelles de dérivation des propositions logiques, dépasse la théorie. Si on complète la théorie en fonction de cette assertion, la méthode de Gödel fournit une nouvelle assertion qui dépasse à nouveau la théorie. Dans le multivers mathématique, des êtres finis ne pourront jamais trouver une théorie finale.

LE MONDE DES ÂNES QUI PARLENT

Lorsque l'on parle d'autres mondes, cette question revient toujours « *Qu'est-ce qui existe ?* », c'est-à-dire l'interrogation sur l'essence même de l'existence. Ce que nous ne pouvons pas observer n'existe pas, telle est la réponse fondamentaliste (positiviste, disent les philosophes). Pour les positivistes radicaux, le monde se termine à l'horizon cosmique. Nous ne pouvons pas voir plus loin et ce que nous ne pouvons pas voir, nous n'en parlons pas. Le multivers mathématique de Tegmark est la position libérale opposée : ce que nous ne pouvons réfuter existe. Cette position a également une tradition dans la philosophie. Elle était défendue par Platon qui postulait l'existence d'un royaume des idées hors de l'espace et du temps abritant tout ce que nous pouvons imaginer. L'idée de Platon séduit de nombreux mathématiciens. Ils sont convaincus que leur travail traite de la réalité. On ne peut certes ni voir ni toucher le chiffre 28 736 ou le cercle de rayon 1. Mais on peut reconnaître leurs propriétés par notre intelligence : c'est ça, les mathématiques. À leur manière, ils existent quelque part à l'extérieur, indépendamment de nous autres hommes.

Vers 1900, le philosophe autrichien Alexius Meinong menait un raisonnement analogue sur les questions concernant l'être. Dans sa théorie de l'objet, il défendait l'idée que les choses et les personnes inventées étaient également au monde. Il ne voulait pas aller jusqu'à leur accorder une existence, mais ils étaient là tout de même d'une manière ou d'une autre. Ils « *subsistent* », disait-il. Par exemple, on peut affirmer ou nier au sujet de l'apprenti-sorcier fictif Harry Potter qu'il vit à Londres, comme s'il était un être vivant réellement.

Un siècle plus tard, le philosophe américain David Lewis alla encore un peu plus loin. Il franchit l'étape qui avait arrêté Meinong : ces autres choses et personnes existent tout comme tout ce qui est dans notre monde, pensait Lewis. Mais elles existent également dans d'autres mondes. Lewis se désignait lui-même comme un « *réaliste modal* ». Tout ce qui existait peut-être (modal) existait réellement (réel), affirmait-il. « *Il existe des mondes innombrables* », écrivit-il dans son livre *On the Plurality of Worlds* (De la pluralité des mondes), « *ils sont un peu comme des planètes éloignées, mais la plupart d'entre eux sont beaucoup plus gros que de simples planètes et ils ne sont ni loin ni près. Ils sont isolés. Il n'existe pas de relations spatiales ou temporelles entre les choses qui font partie de mondes différents.* »

Lorsque Lewis exposait en public sa vision du monde, la plupart du temps « *on le fixait d'un air incrédule, mais très peu de contre-arguments étaient avancés.* » Pourquoi devrait-on croire à tous ces mondes ? « *Parce que c'est utile* », répondait Lewis, « *et parce qu'il y a des raisons d'y croire.* » Pour lui, ces raisons, ce sont ce que nous donnons de nous au quotidien : notre discours sur l'existence, la possibilité, la cause et l'effet ne pourrait être compris que dans un multivers équipé avec une largesse d'esprit radicale, pensait-il. Dans une phrase comme « *les licornes n'existent pas* », le philosophe reconnaissait déjà un indice de l'existence d'autres mondes. Pour que cette phrase ait un sens, le mot « licorne » doit se référer à quelque chose. Il doit donc exister des licornes quelque part, si ce n'est pas dans notre monde, alors ce doit être dans d'autres. Tout ce qui est possible se passe quelque part dans la diversité des mondes de Lewis. Certains de ses mondes sont si étranges qu'ils ne peuvent même pas être décrits dans notre langage.

Lewis n'était pas un homme particulièrement accessible. Il méprisait le bavardage et irritait ses nouvelles connaissances en prenant tout au pied la lettre. Sa passion était également une contribution au multivers. Chez lui, un train miniature roulait à travers un paysage miniature pensé dans les moindres détails, un monde possible qu'il avait bricolé lui-même. Le penseur bourru était considéré de son vivant comme un « *philosophe pour les philosophes* », ses théories comme étant trop excentriques pour être comprises des profanes. Parmi ses collègues, Lewis avait beaucoup d'admirateurs, mais peu de disciples. Il succomba à un infarctus en 2001. Mark Johnston, son collègue de l'Université de Princeton déplora la perte « *du plus grand métaphysicien systématique depuis Leibniz* ». « *Il croyait par exemple qu'il existait un monde avec des ânes qui parlent* », écrivit le *New York Times* dans sa nécrologie.

Au cours des années qui suivirent son décès, la théorie de Lewis fut envisagée sous un jour nouveau. Issues de la physique, de la cosmologie et de la philosophie, les théories des mondes multiples se rencontraient. Max Tegmark considère sa propre théorie du multivers comme la « *version mathématique du réalisme modal de Lewis* ». À partir de points de départ tout à fait différents, Lewis et Tegmark étaient arrivés au même pluralisme des mondes : seule la logique pure pose des limites aux mondes. Un tel multivers serait un paradis non seulement pour les physiciens, mais également pour les mathématiciens et les philosophes.

Peut-être est-ce trop paradisiaque pour être vrai. On ne sait pas encore si le multivers de Tegmark est un concept concluant ou s'il contient des contradictions cachées. Ce ne serait pas la première construction intellectuelle que les mathématiciens verraient s'effondrer. Le paradis n'est pour l'instant rien de plus qu'une promesse.

Du sens de la vie dans les mondes multiples

Et les ramifications recommençaient. Gene Trimble pensait à des Univers parallèles à celui-ci avec dans chacun un Gene Trimble parallèle. Certains étaient partis plus tôt. Certains étaient partis à temps et rentraient maintenant à la maison pour dîner, allaient au cinéma, dans un spectacle de strip-tease ou fondaient vers leur mort prochaine. Ils se déversaient dans toute la multitude des préfectures de police tandis qu'une multitude de Trimbles restait en arrière. Chacun d'eux essayait de maîtriser la succession interminable et inexplicable de suicides dans la ville.

Larry Niven, *All the Myriad Ways*, 1968

Ce ne sont pas les visions du monde qui manquent ! Il y a par exemple la théorie du monde creux, inventée au XIX^e siècle par le médecin américain Cyrus Teed, selon laquelle nous vivons à l'intérieur d'une sphère. Il retourna le monde : notre planète Terre devint la périphérie du cosmos. Les trajectoires du Soleil, de la Lune et des étoiles passaient à l'intérieur de la Terre creuse. Les tenants de la théorie du monde creux ont combiné des lois si raffinées de la diffraction de la lumière et de la diminution des longueurs que leur vision du monde est certes compliquée, mais presque impossible à réfuter.

Dans la théorie du monde creux, ce qui reste vrai, c'est que la Terre est ronde. Les membres de la Flat Earth Society, eux, le nient. Ils sont convaincus que nous vivons sur un disque dont le pôle Nord est le centre et le bord externe un anneau de glace. Ils empruntent à la Bible le fait que la Terre doit être plate et pestent contre les « globularistes » qui sapent la véritable croyance avec des photos truquées du globe terrestre vu de l'espace.

Certaines personnes pensent simplement ce qu'elles veulent. La réalité est secondaire et pas seulement pour quelques excentriques : plus de 450 ans après que Copernic a placé le Soleil au centre du monde, une part constante des Allemands (entre un sixième et un quart) répond dans les questionnaires que le Soleil tourne autour de la Terre. Dans d'autres pays industrialisés, le taux est aussi élevé. Ce ne sont pourtant probablement pas des géocentriques convaincus. Il leur est tout simplement égal de savoir qui tourne autour de quoi, si la Terre est ronde et si nous habitons à l'extérieur ou à l'intérieur. On

peut très bien vivre sans avoir de vision du monde ou en ayant une vision fausse, même au XXI^e siècle. Pourquoi pas ? Qu'est-ce que ça changerait si le Soleil tournait autour de la Terre ?

La prochaine réforme de la vision du monde demeure en suspens et la question « qui s'y intéresse à part une centaine de cosmologistes ? » se pose. Cette fois-ci, il ne s'agit pas seulement de réagencer le Système solaire, d'agrandir l'Univers ou de donner un début au monde. Il y a des doubles en jeu. Et alors, peut-on objecter, en quoi ça me concerne qu'une copie de moi située à une distance unimaginable ait la femme de mes rêves, gagne au loto et ne se déchire pas les ligaments au ski ? Notre vie quotidienne demeure inchangée quoi qu'il arrive dans les autres Univers.

Mais l'idée que chacun d'entre nous vive là-bas dans d'innombrables versions ne peut laisser personne froid. Les personnes qui meurent sur notre Terre continuent à vivre sur une autre Terre avec les mêmes pensées, sentiments et souvenirs, et à nouveau ailleurs avec d'autres pensées. Elles font tout dans toutes les variations possibles, infiniment souvent et toujours de nouveau. C'est le plus grand problème d'identité imaginable. Quelque part là-bas, un double commet un crime horrible. Un autre a eu une idée commerciale de génie l'an dernier et est maintenant l'homme le plus riche de la Terre, de sa Terre.

Maintenant, il s'agit également de vous. Pourquoi existez-vous ? Que se passe-t-il lorsque vous prenez des décisions ? Que signifie avoir de la chance ou de la malchance ? Le fait que le destin du cosmos et celui de chaque être humain soient liés est une des thèses les plus étonnantes de la science moderne,

Votre vie ne sera pas vraiment chamboulée, si l'on révèle un jour qu'il existe vraiment d'autres mondes. Mais ce sera assez important pour entraîner une nouvelle conception du monde, peut-être même pour une nouvelle façon d'aborder l'existence. Dans la vie quotidienne, nous ne penserons pas à chaque minute aux mondes parallèles. Mais les chrétiens ne pensent pas non plus à Dieu en permanence.

La croyance en des Univers parallèles peut avoir un effet tout simplement religieux. Il est réconfortant de savoir que tout ce qui peut arriver arrive vraiment. La vie perd son caractère fortuit. Quand cela va mal pour nous, alors cela va mieux ailleurs dans le multivers pour nos doubles. Toutes les chances que nous avons laissé passer, nous les utilisons ailleurs.

Certains chercheurs qui croient au multivers observent déjà un tel effet sur eux-mêmes. « *J'étais plutôt énervé de recevoir une amende de 144 dollars parce que je n'avais pas suffisamment déblayé la neige devant chez moi* », raconte Max Tegmark. « *D'abord, je me suis dit : je n'ai pas eu de chance. Puis j'ai compris que cela n'a aucun sens de parler de chance ou de malchance, si dans un autre Univers je n'ai pas eu d'amende. J'étais toujours énervé. Mais cela nous enlève la pression de vouloir toujours bien faire.* »

Nous enlève la pression ? Cela pourrait également l'augmenter. Ainsi dans

le roman *Ada ou l'Ardeur* de Nabokov. Il se déroule sur une Antiterre où la croyance en notre Terre est répandue comme une sorte de religion. Sur cette Antiterre, tout est comme sur la Terre et tout de même un peu différent. Le héros, Van Veen, bute toujours sur les petites différences entre les mondes, ce qui le précipite dans le malheur.

C'est justement ce qui se passe avec l'effet réconfortant du multivers : c'est une question de point de vue. Les optimistes peuvent se réjouir que tout leur réussisse ailleurs. Les pessimistes peuvent s'affliger que leurs doubles fassent toutes les bêtises possibles ou soient poursuivis par la malchance.

Lorsque que l'on apprend pour la première fois à quelqu'un qu'il est possible qu'il vive dans un multivers, peut-être dans des milliers de versions, la réaction typique est la suivante : s'étonner, faire le tri, continuer à vivre. *« Incroyable, je vis là-bas aussi ! » « Qu'est-ce qui est moi dans ces différentes versions et qu'est-ce qui n'est pas moi ? » « Peu importe. Ça ne concerne pas la vie que je mène dans cet Univers. »* C'est vrai dans le multivers cosmologique, où des distances inimaginables séparent les doubles. Les cours des vies sont séparés par des distances infranchissables. Mais le multivers de la mécanique quantique est différent. Dans ce multivers, vous ne pouvez être plus proche de votre alter ego. Vous faites un avec lui, état partiel d'un grand tout.

C'est pourquoi il est si difficile de dire où se trouvent exactement les mondes parallèles du multivers de la mécanique quantique. On ne peut pas les montrer du doigt. Ces mondes existent, mais ils ne se trouvent pas comme des galaxies différentes dans un espace cohérent en trois dimensions. Les mondes multiples ressemblent plutôt à des états mentaux d'un homme souffrant d'un dédoublement de la personnalité. Leurs habitants vivent dans ces mondes différents sans s'en rendre compte.

Le chat de Schrödinger habite également l'un de ces mondes. Dans son expérience de pensée, Erwin Schrödinger l'avait placé dans une boîte en présence d'un mécanisme meurtrier. Un événement fortuit de la mécanique quantique, la désintégration d'un unique atome radioactif, plaçait le chat dans une étrange existence hybride de vie et de mort. C'est en tout cas ainsi que l'interprétait Schrödinger. Selon la théorie des mondes multiples de la mécanique quantique, la situation semble différente : au moment où l'atome se désintègre radioactivement, le monde se ramifie en deux mondes parallèles. Dans l'une des branches, le chat est mort, dans l'autre, il est vivant.

Le monde continue de se ramifier, les branches grandissent pour former des broussailles de plus en plus denses. Il n'est pas question de vie ou de mort à chaque fourche. Pour qu'un monde se transforme en deux mondes parallèles, il suffit d'une situation typique de la circulation. Imaginons que vous rouliez rapidement en direction d'un feu vert. Il passe à l'orange. Vous pouvez encore y arriver. Ou non ? Vous hésitez, vous devez vous décider. Dans un cas extrême, il est possible que la charge d'un unique atome de calcium dans une synapse de votre cerveau décide si vous allez vous arrêter

ou accélérer au moment suivant. Vous aurez peut-être l'impression de prendre une décision et de la mettre en œuvre tout en rejetant l'autre option. Mais dans l'entrelacs de mondes de la mécanique quantique, ce que vous faites est clair dès le départ : les deux.

Dans l'une des branches, vous accélérez, dans l'autre vous freinez. Pendant une fraction de seconde, vous flottez entre le frein et l'accélérateur, comme le chat de Schrödinger entre la vie et la mort. Vous existez dans un état de superposition quantique constitué des deux alternatives. Ensuite, la cascade de signaux d'un atome de calcium se propage par votre cerveau, dans vos muscles, jusqu'à votre pied sur la pédale d'accélérateur. Les deux branches sont tout de même encore aussi réelles, mais se séparent en l'espace de milliardièmes de secondes. Les physiciens quantiques appellent ce processus la « décohérence » parce que le système auparavant cohérent, c'est-à-dire formant un tout, se désagrège. L'état fragile de superposition se divise entre les deux possibilités : accélérer et freiner.

Votre double qui a décidé autrement est désormais pour toujours hors d'atteinte. Vous ne l'avez pas remarqué parce que la décohérence agit à la vitesse de l'éclair. Si la décohérence n'ordonnait pas le désordre du monde quantique, nous deviendrions immédiatement fous. Nous devrions nous asseoir sur des chaises qui se trouvent en plusieurs endroits à la fois. Le ciel serait simultanément nuageux et d'un bleu radieux. Nos doubles se mettraient constamment en travers de notre chemin. « *Nous devrions développer une intuition pour exister dans des états de superposition* », explique le physicien de Heidelberg, Dieter Zeh, un spécialiste des conséquences philosophiques de la décohérence dans la théorie des mondes multiples. Mais même Zeh ne peut pas dire ce que nous ressentirions si notre état dans ce monde dépendait de manière surnaturelle de nos représentants dans les mondes parallèles. Peut-être que notre cerveau dans son état actuel de développement serait dépassé par cela.

LE SUICIDE N'EST PAS UNE SOLUTION

« *Qui suis-je ? Et si oui, combien ?* » Cette question se pose dans le multivers de manière plus pressante que jamais. Quelles copies et quelles variantes d'un homme appartiennent encore à cet homme, lesquelles sont trop différentes ? « *C'est troublant* », reconnaît le physicien Anthony Aguirre de l'Université de Californie à Santa Cruz. « *Qu'est-ce que cela signifie, être "moi" ? Je me débats avec cette question.* »

Dans un monde qui se ramifie, notre problème d'identité n'a plus de solution sensée, craignent certains philosophes. Une personnalité divisée n'est plus une personnalité, pense par exemple Derek Parfit du All Souls College d'Oxford. Car il est essentiel pour une personnalité d'avoir une suite ininterrompue d'états mentaux du berceau au tombeau. Mais entre deux états

d'un homme dans deux mondes, il n'y a pas de continuité. D'autres philosophes sont moins pessimistes. Mais il est certain que nous devons nous redéfinir dans le multivers : qu'entendons-nous lorsque nous disons « *je* » ? Une unique version de nous, l'ensemble de toutes les versions ou seulement les copies suffisamment ressemblantes ? Nous devons nous décider. Lorsque nous aurons trouvé notre nouvelle identité, nous aurons besoin d'une nouvelle éthique. Comment devons-nous vivre et agir dans un monde qui se divise encore et encore, et chacun d'entre nous avec lui ? Imaginez que vous soyez courageusement passé au feu rouge. Un cycliste arrive sur la droite, vous réussissez à l'éviter de justesse. « *Ouf, je m'en suis encore sorti* », pensez-vous peut-être. Mais ne devriez-vous pas également penser que vos représentants dans d'autres mondes viennent de heurter le cycliste ?

Il semble que nous perdions toute notre liberté dans le multivers. Quoi que nous fassions, nous faisons toujours tout ce qui est possible. Que pouvons-nous encore espérer si de toute façon tout se produit, de quoi pouvons-nous être encore fiers et de quoi devons-nous nous sentir coupables ? « *Pourquoi devrais-je obéir à la loi si mes crimes restent toujours impunis dans un autre Univers ?* », demande Michio Kaku sans apporter de réponse. Le plus sage consisterait peut-être simplement à rester au lit.

L'écrivaine et juriste Juli Zeh voit également s'estomper dans le multivers tous les critères auxquels nous nous référons pour agir : « *Pourquoi devrait-on encore prendre une décision si tout ce qui est physiquement possible s'est passé de toute façon ? Pourquoi un meurtrier devrait-il ne pas tuer sa victime s'il a de toute façon commis le crime dans un autre monde ? Les hommes seraient libérés de toute responsabilité pour leurs actes. Si la théorie des mondes multiples de la mécanique quantique se révèle exacte, les systèmes juridiques ne seraient certainement pas immédiatement modifiés. Mais il faudrait lancer un nouveau débat éthique.* » Dans son roman *Schilf*, elle montre jusqu'où peut aller la querelle sur le nombre d'Univers. La théorie des mondes multiples de la mécanique quantique y brise une amitié entre deux physiciens. L'un tente de prouver à l'autre par tous les moyens qu'il n'existe qu'un seul monde. La discussion Universitaire aboutira à une affaire criminelle avec meurtre et enlèvement d'enfant.

Dans notre monde, le débat sur le multivers n'a pas encore débouché sur des délits selon l'état actuel de notre enquête. Mais ils sont envisagés. Max Tegmark ne connaît qu'une seule manière de tester de manière expérimentale l'existence des mondes parallèles et elle est plutôt radicale : le suicide quantique. Tegmark propose de jouer à la roulette russe avec les atomes. La gâchette d'un pistolet est liée à un compteur Geiger qui mesure la désintégration d'atomes radioactifs. Si un atome se désintègre par hasard au moment où on appuie sur la gâchette, l'arme tire une balle réelle. Si aucun atome ne se désintègre, elle fait seulement « clic ». Lors d'un tir d'essai sur un sac de sable, on entendrait une série aléatoire de détonations et de clics. Un physicien téméraire pourrait maintenant ordonner à son assistant de pointer

l'arme sur lui et de tirer dix fois. S'il n'existe qu'un seul monde, alors ses chances de survie sont infimes. Mais, dans le multivers de la mécanique quantique, il se retrouvera dans un état dans lequel il a entendu dix clics. Il est certes mort dans presque tous les mondes, mais il a survécu dans certains. Là-bas du moins, il peut être relativement sûr qu'il existe plusieurs mondes.

Max Tegmark est certes profondément convaincu de vivre dans un multivers de mécanique quantique, mais il n'a pas encore osé jouer à la roulette russe quantique. Il a une femme et des enfants dont il ferait une veuve et des orphelins dans la plupart des mondes. Même dans le multivers, c'est un crime de diriger un pistolet quantique vers soi et d'espérer que seuls ses doubles dans les autres mondes soient tués.

Heureusement, cela ne se produit pour l'instant que dans les livres. Dans l'histoire de science-fiction *All the Myriad Ways*, Larry Niven raconte comment le fait de savoir qu'il existe d'autres mondes peut vraiment mener les hommes à la folie et au suicide. Niven développe le scénario catastrophe d'un futur dans lequel une entreprise appelée *Crosstime Inc.* envoie ses pilotes entre différents Univers parallèles. Les coursiers inter-Univers importent des innovations techniques dans leur monde natal et apportent les nôtres à d'autres mondes. Mais le fait de savoir qu'ils vivent simultanément dans plusieurs Univers détruit le moral des hommes. Ils tuent et violent sans raison apparente. Le nombre de suicides augmente. Le commissaire Gene Trimble tente de comprendre pourquoi tout en jouant avec son pistolet. Et s'il se tirait une balle dans la tête ? Quelle importance cela aurait-il ? Il continuerait à vivre dans d'autres Univers. Trimble continue d'errer avec ses pensées dans l'illusion des mondes jusqu'à ce qu'il perde son désir de vivre et finisse réellement par se tuer. Mais pas dans tous les Univers.

Cependant, le commissaire se trompe. En effet, la manière dont on agit dans le multivers a de l'importance, même si on accomplit vraiment chaque action dans l'un ou l'autre monde. C'est ce qui est apparu aux physiciens petit à petit lorsqu'ils ont commencé à comprendre il y a quelques années comment les énoncés de probabilité de la mécanique quantique pouvaient être conciliés avec la théorie des mondes multiples. La nouvelle de Larry Niven était déjà publiée.

Le problème est le suivant : la physique quantique attribue aux événements du micromonde des probabilités statistiques. Par exemple, un atome radioactif d'iode 131, après sa double demi-vie de 16 jours, s'est désintégré selon une probabilité de 75 % (en un atome de xénon ou en un électron). Dans la théorie des mondes multiples, la situation s'explique ainsi : le monde se ramifie en un monde dans lequel l'atome d'iode 131 s'est désintégré et en un autre dans lequel il ne s'est pas désintégré. Mais comment peut-on dire de quelque chose qu'il est plus ou moins probable s'il se produit de toute façon ?

« *La probabilité dans la théorie des mondes multiples n'a pas la même signification que dans l'interprétation traditionnelle* », explique le philosophe

David Papineau du King's College de Londres. *« Elle se passe de l'importance relative de tous les futurs réels et non de la perspective des futurs possibles de devenir réelle. »* Si le monde se ramifie continuellement en mondes parallèles, les ramifications qui ont une plus grande probabilité que les autres sont donc plus épaisses. Les physiciens et les philosophes discutent encore de ce signifient les termes *« plus épaisses »* et *« plus probables »*.

La bonne nouvelle, c'est que nous avons une plus grande marge de manœuvre dans le multivers. Nous pouvons nous sentir libres d'une nouvelle manière. Dans un monde se déroulant sur une voie unique et fixe, tel que le prévoyait la physique classique, il n'existe pas de *« Et si... alors »*, nous n'avons donc rien à décider. Dans le multivers, il existe des possibilités. Chaque présent a plusieurs futurs. Chacun peut donner plus de poids à telle ou telle possibilité. Même si chaque possibilité devient réalité, la place qu'elle occupera dans l'espace n'est pas encore déterminée. *« En prenant la bonne décision, en agissant correctement, nous épaississons la pile des Univers dans lesquels des versions de nous mènent une vie sensée »*, explique le physicien londonien David Deutsch, très calé en matière de multivers. Il n'a pas seulement apporté le concept parmi les scientifiques, mais également le terme de *« multivers »*.

Pour Deutsch, le multivers ne nous enlève pas notre liberté, bien au contraire, il nous la donne, nous offrant ainsi la possibilité d'être bon ou mauvais. *« Si vous réussissez, alors toutes vos copies qui ont pris les mêmes décisions réussissent »*, affirme Deutsch. *« Vos bonnes actions augmentent la part du multivers dans laquelle de bonnes choses arrivent. »* Si on se représente le multivers comme une haie envahissante dont les branches croissent sans arrêt, nous pouvons renforcer les branches épaisses par nos actions. Même un habitant honnête du multivers ne peut empêcher le mal. Mais il peut donner plus de poids au bien. C'est pourquoi il est utile de continuer à trier nos déchets même si beaucoup de nos doubles jettent tout dans la même poubelle. Du moins si on croit contribuer à sauver le monde en triant ses déchets.

LA BELLE QUANTIQUE AU BOIS DORMANT

Dans le multivers de la mécanique quantique, chacune de nos actions influence donc la structure du monde. Un soupçon fou s'impose : la structure du cosmos décide-t-elle ce que nous ferions mieux de faire ou d'arrêter ? Cette supposition provoque l'intervention des philosophes. Ils en débattent sous la forme de l'histoire de la *« Belle quantique au bois dormant »*, une version actualisée du conte des frères Grimm :

Il était une fois un sujet expérimental appelé la Belle au bois dormant. Un dimanche soir, elle est endormie par un chercheur sans scrupules grâce à un puissant médicament. Il est convenu qu'après l'endormissement, le chercheur fasse dans la nuit du dimanche au lundi une expérience aléatoire de mécanique quantique avec deux issues possibles, qui sont aussi probables l'une que l'autre. Appelons les

deux issues « pile » et « face », comme lorsqu'on lance une pièce de monnaie. Le lundi matin, il réveille la Belle au bois dormant. Si c'est face, l'expérience est terminée. Mais si c'est « pile », il donne à la Belle au bois dormant un médicament qui lui fait oublier son réveil et la rendort. Il la réveille ensuite seulement le mardi matin. La Belle au bois dormant sera donc réveillée seulement une fois le lundi ou deux fois, le lundi et le mardi, avant de pouvoir rentrer chez elle.

Il existe sans doute des contes plus divertissants, mais du point de vue philosophique, la Belle quantique au bois dormant soulève une question épineuse. Mettez-vous à la place de la Belle au bois dormant. Dehors le Soleil se lève, vous venez d'être réveillé par l'expérimentateur, mais vous ne savez pas quel jour on est. Si celui-ci vous demandait alors selon quelle probabilité l'expérience de la nuit de dimanche à lundi a donné « face », que répondriez-vous ? Il y a deux moyens de calculer cette probabilité, les deux sont convaincants, mais arrivent à deux résultats différents. D'une part, la probabilité de tomber sur face avant l'endormissement dimanche soir était exactement de $1/2$. Et parce que vous n'avez rien appris de nouveau pendant votre sommeil (et si c'était pile, avez dû avaler lundi une pilule d'oubli), vous devriez au réveil le lundi tout comme le mardi toujours supposer que la probabilité était de $1/2$. D'autre part : si on répétait l'expérience très souvent, alors vous seriez réveillé et rentreriez à la maison dans la moitié des cas le lundi. Mais dans l'autre moitié des cas, vous passeriez une autre nuit au laboratoire. Lorsque la pièce tombe sur face, vous êtes donc réveillé une fois (le lundi), lorsque la pièce tombe sur pile, vous êtes réveillé deux fois (lundi et mardi), cela fait $1/3$ pour $2/3$. À la question de l'expérimentateur, on devrait donc répondre d'après ce calcul : la probabilité que pendant la nuit, la pièce soit tombée sur face est de $1/3$.

Voici le mystère. $1/2$ ou $1/3$: les deux à la fois ne peuvent être vrais. Les mathématiques ne sont plus d'aucune aide. Ils peuvent certes compter sur les probabilités, mais ne peuvent attribuer à un événement aucune probabilité. C'est aux physiciens, ou dans ce cas aux philosophes, de le faire.

Si la Belle quantique au bois dormant demandait l'avis des philosophes, ce serait toutefois assez confus. D'abord, en l'an 2000, Adam Elga, philosophe de l'Université de Princeton et créateur de l'énigme de la Belle au bois dormant, soutint le résultat $1/3$. Son collègue australien David Lewis le contredit et plaida pour la solution $1/2$. Pendant des années, les camps des Thirder (anglais pour tiers) et des Halvers (anglais pour demis) se firent face sans pouvoir se réconcilier. Les arguments devenaient de plus en plus pointilleux. Peu à peu les Thirder prirent le dessus en nombre.

Mais les penseurs avaient fait leur calcul sans le multivers. En 2007, le philosophe Peter Lewis de l'Université de Miami introduisit dans la discussion la thèse selon laquelle la bonne réponse pour la Belle quantique au bois dormant dépendait de la manière dont le cosmos était construit. Si le monde se divise comme le décrit la théorie des mondes multiples de la mécanique quantique, alors la Belle quantique au bois dormant devrait parier sur face avec une probabilité de $1/2$. En fait, l'argument de Lewis est que le monde se divise avec l'expérience aléatoire en deux versions, une pour

face, une pour pile. Les deux ramifications sont aussi réelles et aussi probables. Si la Belle au bois dormant se réveille, il s'agit pour elle seulement de savoir dans quelle ramification elle est arrivée. Elle doit donc, si elle suit Lewis, donner à face (comme à pile) la valeur $1/2$. Cela ne plut pas aux Thirder. La Belle quantique au bois dormant est comme les autres contes : librement inventé, assez éloigné de la réalité, mais instructif lorsqu'on y réfléchit. Du moins pour les philosophes. Il semble que nos attentes vis-à-vis du futur pourraient vraiment dépendre du fait que nous vivions dans un ou dans plusieurs mondes. On ne sait pas encore si cette connaissance pourrait également servir un jour pour les situations de la vie quotidienne. Les philosophes commencent seulement à se repérer dans le multivers.

Dans le monde ramifié de la mécanique quantique, une nouvelle sorte de liberté s'offre à nous. À nous de voir ce que nous allons en faire. Avant de pouvoir l'exploiter à fond, il faudra d'abord la comprendre et garder la tête froide à ce sujet, ce qui est déjà assez difficile. « *Le multivers rend fou quand on réfléchit vraiment à l'impact qu'il a sur notre vie quotidienne* », explique le philosophe Simon Saunders de l'Université d'Oxford. Il préfère donc ne pas y penser. Il est certes convaincu par la théorie des mondes multiples de la physique quantique. « *Je l'accepte simplement* », dit-il, « *mais ensuite je pense à autre chose, pour le bien de ma santé mentale.* »

14

Où est Dieu ?

Ainsi, la splendeur de Dieu est augmentée, la grandeur de son royaume est révélée : il n'est pas célébré dans un, mais dans d'innombrables soleils, pas dans une Terre, un monde, mais dans plusieurs centaines de milliers, que dis-je, dans d'innombrables mondes.

Giordano Bruno, *L'infini, l'Univers et les mondes*, 1584

Imaginez : vous vous faites kidnapper un mercredi. Votre kidnappeur est un psychopathe. Il ne veut pas de rançon, mais que vous jouiez votre vie au loto : vous devez deviner les chiffres qui seront tirés au loto ce soir. Si vous devinez juste, il vous libère. Sinon, il vous tue. Quel autre choix avez-vous que de participer ? Vous lui donnez six chiffres. Le soir arrive, les boules sortent. Ce sont justement vos numéros qui sont tirés. Vous avez deviné juste. Le kidnappeur tient parole et vous libère.

Vous ne fermez pas l'œil de la nuit. Vous n'arrivez pas à croire que vous êtes en vie. Y avait-il un truc ? C'est incroyable ! C'est impossible que vous ayez simplement eu de la chance ! Ou bien si ? Aussi grande qu'ait été cette chance, si vous ne l'aviez pas eu, vous ne seriez pas là en train de vous en étonner.

L'humanité doit son existence à une chance beaucoup plus improbable que six bons numéros au loto. L'Univers est réglé exactement comme il doit l'être pour produire de la vie. Un petit changement dans les lois de la physique et la Terre serait déserte. Deux exemples : si les protons, les éléments des noyaux atomiques, étaient plus lourds de seulement 0,2 %, ils se désagrègeraient. Il n'y aurait pas d'atomes, pas de planètes, pas de vie et vous n'existeriez pas non plus. Et si la force de gravité n'était pas réglée exactement telle qu'elle l'est, tout serait sombre : un peu plus faible et la masse de l'Univers serait dispersée de manière instable ; un peu plus forte et les étoiles brûleraient si vite sous la pression de leur propre poids qu'il n'y aurait pas eu assez de temps sur aucune planète pour l'évolution de la vie.

« *Seuls six chiffres* » décident de la taille et de la forme du cosmos, affirme l'astronome anglais Sir Martin Rees. Il s'agit de paramètres assez techniques : le nombre de dimensions de l'espace, la densité et le caractère grumeleux de la matière dans l'espace, le rapport de forces entre la gravitation et

l'électromagnétisme, la force de liaison dans les noyaux atomiques et la constante cosmologique qui accélère l'expansion du cosmos. Ce que signifient exactement ces chiffres, seuls les spécialistes le comprennent, mais les conséquences sont évidentes pour tous : le Soleil, la Lune, les étoiles, les planètes, les atomes. Et le fait qu'ils aient exactement les bonnes valeurs nécessaires pour permettre à quelque chose d'aussi compliqué que nous, les êtres humains, de vivre frise le miracle. Tirer les six bons numéros au loto cosmique est beaucoup plus improbable qu'au loto du mercredi. L'Univers semble rempli de hasards providentiels.

Les physiciens n'aiment pas les hasards, même providentiels. Car les hasards sont toujours inexplicables et c'est leur rôle d'expliquer l'Univers. Au moment du Big Bang, la probabilité qu'un Univers comme celui-ci soit produit était de 1 pour 10^{59} , ont estimé les cosmologistes. Cinquante-neuf zéros, peut-être un peu plus ou un peu moins, toutefois beaucoup trop au goût des physiciens. « *Nous avons là beaucoup de hasards vraiment remarquables* », explique le physicien Andreï Linde, « *et tous tels qu'ils rendent justement la vie possible.* »

Les théologiens aiment les hasards. Il n'existe pour eux qu'une seule réponse à la question : « pourquoi le monde est-il tel qu'il est ? » Parce que Dieu l'a créé ainsi. Et pourquoi l'a-t-il créé justement ainsi ? Pour cela, le savant Universel allemand Gottfried Wilhelm Leibniz avait au XVII^e siècle une explication logique : Dieu, omniscient, tout-puissant et à la bonté infinie ne pouvait avoir créé que le meilleur de tous les mondes possibles. Celui-ci ou rien. Sinon, il ne serait pas omniscient, tout-puissant et d'une bonté infinie.

Leibniz a beaucoup réfléchi pour parvenir à montrer pourquoi malgré la guerre, la faim et les épidémies, notre monde est le meilleur des mondes possibles. Tout le mal serait justement nécessaire, affirmait-il, pour réaliser le bien. Il se représentait Dieu comme le plus sage de tous les horlogers, dont l'œuvre, une fois créée et parfaitement réglée, fonctionne d'elle-même éternellement dans un « *ordre magnifique et prédéterminé* », comme il le formula dans une lettre à Samuel Clarke, un ami d'Isaac Newton. Si Dieu devait toujours remonter son mécanisme d'horlogerie, comme l'affirmaient Newton et Clarke, sa création n'aurait pas été parfaite. Et comme pour Leibniz, un bon monde devait être densément peuplé, il n'aurait pas non plus été surpris que l'Univers soit adapté à la vie de A à Z. La cosmologie lui donnerait aujourd'hui de meilleurs arguments qu'il n'a jamais eus. Même si notre monde n'est pas tout à fait le meilleur de tous les mondes possibles, il est tout de même assez bon pour donner du poids à la thèse d'un créateur bienveillant.

Les théologiens sont donc bien armés pour répondre aux questions sur l'Univers et pendant longtemps, ils furent les seuls à être compétents dans ce domaine. Les scientifiques décrivaient le monde *tel* qu'il est. Les théologiens expliquaient *pourquoi* il est ainsi. Mais au XX^e siècle, les scientifiques prirent

de l'assurance, dénoncèrent cette répartition du travail et se lancèrent dans les questions fondamentales. « *La question qui m'intéresse le plus* », expliqua Albert Einstein, « *est de savoir si Dieu avait un choix lors de la création.* » Il voulait savoir pourquoi les lois et les constantes physiques (la masse des particules élémentaires par exemple ou la puissance de la force de gravité) sont telles que nous les observons. D'autres lois et constantes physiques sont-elles imaginables ? En bref, la question éculée : pourquoi l'Univers est-il tel qu'il est ?

LES STATISTIQUES REMPLACENT LE CRÉATEUR

Einstein espérait qu'un principe physique plus profond mettrait fin à tous les hasards : une théorie du Tout. Il passa les trois dernières décennies de sa vie à la chercher, en vain. Ses successeurs continuèrent la recherche. Ils découvrirent beaucoup de choses sur la manière dont est le monde. Mais pas pourquoi il est ainsi.

Puis, en 1973, le physicien anglais Brandon Carter stupéfia ses collègues en affirmant que la question d'Einstein renfermait en elle-même sa réponse. L'Univers est tel qu'il est parce que nous sommes là. S'il était autrement, nous ne pourrions nous poser cette question. Notre simple existence délimite les constantes physiques. Carter le formula ainsi : « *Ce que nous pouvons espérer observer doit être limité par les conditions nécessaires à notre présence en tant qu'observateur.* » Il nomma cette idée le principe anthropique (voir le chapitre 11).

Le principe anthropique mit l'histoire de la cosmologie sens dessus dessous. Carter le présenta justement lors d'une conférence en l'honneur de Copernic, qui avait autrefois banni l'humanité du centre de l'Univers. Et 500 ans plus tard, Carter aurait voulu nous donner à nouveau à nous, les habitants d'une planète minable à la périphérie d'une galaxie moyenne, un rôle important dans l'ordre cosmique ? L'enthousiasme parmi ses collègues fut modéré. « *Nous pensions que n'importe quelle explication du réglage cosmique de précision valait mieux que pas d'explication du tout* », explique l'astronome Bernard Carr, « *mais de nombreux physiciens considéraient alors les assertions anthropiques avec mépris.* »

S'il n'existe qu'un seul Univers, le principe anthropique ne mène pas bien loin. Le monde est tel qu'il est parce que nous sommes tels que nous sommes. Et nous sommes ainsi parce que le monde est ainsi. Le raisonnement est circulaire.

Puis, la cosmologie, la physique quantique, la théorie des cordes apportèrent de plus en plus d'indices suggérant qu'il existe plus d'un Univers. Et le principe anthropique apparut soudain sous un tout autre jour. Il ne doit plus expliquer la forme des mondes multiples, mais seulement notre place spécifique en leur sein.

Si les lois et les constantes physiques varient de manière aléatoire d'un Univers à l'autre, alors savoir pourquoi elles sont justement telles qu'elles sont chez nous n'est plus une énigme. Leonard Susskind y répond ainsi : *« Quelque part dans le mégavers , la constante a cette valeur-ci, ailleurs celle-là. Et nous vivons dans une partie minuscule dans laquelle la valeur est compatible avec notre mode de vie. C'est tout ! Il n'y a pas d'autre réponse à cette question. »*

C'est comme pour notre existence sur la Terre : personne ne s'étonne que l'humanité vive justement sur la seule planète du Système solaire qui lui offre un environnement hospitalier. Elle ne serait apparue sur aucune autre. Aucun besoin de hasard providentiel ni d'intervention divine.

300 ans av. J.-C., Épicure croyait déjà *« qu'il existait une infinité de mondes dont certains étaient semblables au nôtre et d'autres différents »* et que dans cette étendue infinie, il n'y avait pas de place pour des dieux. De même, les athées d'aujourd'hui espèrent que la science pourra relever Dieu de ses fonctions grâce au multivers. Si tout ce qui est imaginable se répète à l'infini, il n'y a pas grand-chose à faire pour un créateur. Le multivers est aussi passionnant pour l'homme qu'il est ennuyeux pour Dieu.

Ce qui ressemble à l'œuvre d'un créateur dans un Univers unique se révèle dans le multivers comme de pures statistiques. *« Je pense que pour qu'il existe tant de réglages d'une telle précision, il n'existe que deux explications »*, affirme le physicien et prix Nobel américain Steven Weinberg, *« un créateur bienveillant ou un multivers. »* Le philosophe Neil Manson voit dans le multivers *« le dernier refuge pour des athées désespérés »*. Dans son livre *Pour en finir avec Dieu*, le très athée Richard Dawkins fait un éloge tout à fait dithyrambique du principe anthropique dans le multivers. L'idée serait *« de la plus grande beauté »* et le multivers beaucoup moins extravagant que l'hypothèse de l'existence de Dieu. *« Le multivers peut sembler extravagant en ce qui concerne le nombre d'Univers »*, écrit Dawkins. *« Mais chacun de ces Univers est simple dans ses principes fondamentaux. Cela signifie que nous ne postulons rien qui serait hautement improbable. »*

Sir Martin Rees résume cette discussion dans l'index de son dernier ouvrage. Sous la rubrique *« Intervention divine »*, il n'a indiqué qu'un bref renvoi : *« Voir multivers »*.

Le principe anthropique compte de plus en plus de disciples parmi les chercheurs. Mais tous sont loin d'être convaincus. David Gross commente de manière lapidaire : *« Le principe anthropique est mauvais. On ne peut rien expliquer ni calculer à partir de ce principe. »* Les défenseurs du principe répliquent que de telles prédictions existeront très probablement d'ici peu.

Steven Weinberg fit réellement une sorte de prédiction dans les années 1980 à l'aide de l'argument anthropique. Il calcula quelle pouvait être la force maximale de l'antigravitation qui disperse l'Univers, pour que les atomes puissent s'assembler après le Big Bang afin de former des étoiles et des galaxies (l'antigravitation est l'équivalent de la constante cosmologique ou de l'énergie noire). Résultat : son énergie ne doit pas dépasser cent

atomes d'hydrogène par mètre cube. Si elle était supérieure, les étoiles et finalement les êtres humains n'auraient jamais existé. Weinberg découvrit donc une limite supérieure pour l'antigravitation. En 1998, des mesures montrèrent que notre Univers s'agrandit de manière accélérée, poussé par une énergie noire, dont la valeur est d'environ quatre atomes d'hydrogène par mètre cube, valeur inférieure à la limite de Weinberg. Depuis, les physiciens se disputent pour savoir s'il s'agit d'une confirmation de la prédiction de Weinberg (le pionnier du multivers Alexander Vilenkin parle d'un « *classique du raisonnement anthropique* ») ou bien, comme le pense David Gross, si on en était déjà arrivé à ce point sans ce tour de passe-passe anthropique.

Weinberg lui-même se trouve quelque part entre les fronts. En tant que physicien, parler du principe anthropique revient à peu près à parler de pornographie pour un ecclésiastique, a-t-il dit un jour : « *On aura beau affirmer qu'on est contre, certaines personnes penseront toujours qu'on s'y intéresse un peu trop.* »

La fin du conflit n'est pas en vue. Dans quelques décennies, le principe anthropique sera peut-être un principe directeur de la cosmologie. Ou alors il sera tombé dans l'oubli. En attendant, la réponse à la question : « *pourquoi l'Univers est-il si hospitalier ?* » reste une histoire de croyance.

Ceux qui ne savent pas encore en quoi croire ont quatre possibilités :

- 1) Nous avons simplement eu une chance immense. Tous les paramètres de l'Univers pourraient avoir d'autres valeurs, celui-ci serait alors resté vide et sombre. Mais, dans la loterie cosmique, ils sont tombés dans la marge étroite qui rend le monde fertile.
- 2) Il ne s'agissait pas de chance, mais de nécessité. Une future théorie du Tout réduira la marge de manœuvre des constantes physiques de telle manière que seul un monde habitable peut être produit.
- 3) Nous n'avions pas besoin de chance. Il existe tellement d'Univers différents que certains d'entre eux sont habitables. Et nous vivons obligatoirement dans un Univers habitable. Le principe anthropique nous en choisit un.
- 4) C'est un hasard. Un être supérieur a créé le monde tel qu'il est. Le monde est peut-être un produit de laboratoire d'une civilisation avancée. Peut-être l'œuvre d'un dieu.

La possibilité (1) implique la fin de la discussion : un gagnant du loto ne se demande pas pourquoi ses chiffres ont été tirés. La possibilité (2) est ce dont rêvait Einstein et dont continuent à rêver de nombreux physiciens, la théorie du Tout, qui explique tout. Depuis, d'autres ont abandonné l'espoir de cette superthéorie. Restent les possibilités (3) et (4). Devons-nous donc choisir entre Dieu et le multivers ?

Le multivers n'a pas toujours été considéré comme le « refuge des athées ». Au Moyen-Âge, les théologiens ne voyaient aucune contradiction entre l'idée

des mondes multiples et le dogme chrétien. Au contraire. Le païen Aristote avait un jour enseigné qu'il ne pouvait exister qu'un seul monde. Les représentants de l'Église y virent une restriction de la toute-puissance divine. En 1277, Étienne Tempier, l'évêque de Paris, l'expliqua expressément dans sa *Sentence 34* à cet hérétique qui contestait la capacité de Dieu à créer plus d'un monde. Tempier n'affirmait certes pas qu'il existât réellement plusieurs mondes. Mais il considérait comme une hérésie de contester la possibilité qu'il en existe plusieurs. Les plus grands savants du XIV^e siècle, Guillaume d'Ockham, Jean Buridan et Nicole Oresme, croyaient également en la possibilité de l'existence d'autres mondes. Au XV^e siècle, le franciscain Guillaume de Vorillon se demandait si Jésus Christ avait également sauvé les habitants d'autres mondes en mourant sur la Croix. Oui, répondit-il, « *même s'il existe une infinité d'autres mondes. Mais Il ne se serait sans doute pas rendu dans ces mondes pour devoir y mourir à nouveau.* » Nous avons donc eu le privilège que Jésus ait choisi notre Terre pour mourir. Même le très influent cardinal Nicolas de Cues croyait au XV^e siècle à la pluralité des mondes et à un Univers infini qui contenait partout de la vie.

Puis arriva Copernic et les querelles entre les théologiens et les cosmologistes commencèrent. Par crainte de la colère de l'Église, Copernic ne publia son chef-d'œuvre sur sa vision du monde héliocentrique qu'en 1543, à l'âge de 70 ans, peu de temps avant sa mort. Et même alors, il ne la présenta que comme une hypothèse purement mathématique. Galilée la défendit plus résolument et fut réduit au silence par l'Inquisition qui l'assigna à résidence et lui interdit de continuer ses recherches.

L'Église catholique voyait l'ordre divin menacé. Les spéculations sur d'autres mondes furent à partir de ce moment-là considérées comme excentriques et blasphématoires, bien que l'Église prône aussi un multivers : les trois mondes de la vie ici-bas, du ciel et de l'enfer. Le ton se durcit entre théologiens et cosmologistes. « *Honte sur cette infinité ou cette pluralité des mondes* », écrivit au XVI^e siècle le savant calviniste Lambert Daneau, « *il y en a un seul et pas un de plus.* » Le luthérien Philipp Melanchton ne croyait pas à la rédemption des extraterrestres : « *Notre Seigneur Jésus-Christ est né, a été crucifié et est ressuscité dans ce monde. C'est pourquoi l'idée d'autres mondes ne doit pas exister et personne ne doit penser que la vie éternelle serait accordée à des hommes dans d'autres mondes, dans lesquels on ne sait rien du fils de Dieu.* » Les ecclésiastiques qui plaidaient pour une pluralité de mondes, comme les moines dominicains Giordano Bruno et Tommaso Campanella furent emprisonnés et torturés. Bruno finit sur le bûcher.

Pendant ce temps, au-delà de la sphère d'influence de l'Église catholique, les idées sur la pluralité des mondes continuaient de se répandre. Dans l'Angleterre dominée par l'anglicanisme, les pionniers de la science ne voyaient aucune contradiction entre leur foi chrétienne et les spéculations sur d'autres mondes. Au contraire. Le physicien et chimiste Robert Boyle, ami d'Isaac Newton et cofondateur de la Royal Society, donna à sa version

du multivers un fondement théologique, qui conviendrait également à la cosmologie du XXI^e siècle. Il pensait que Dieu avait essayé différentes lois physiques hors de l'Univers observable : « *Si nous supposons, comme le font de nombreux philosophes modernes, que Dieu a créé d'autres mondes en plus du nôtre, alors il est hautement probable qu'Il ait montré Son savoir multiple dans des œuvres qui se différencient beaucoup de celle-ci, dans laquelle nous L'adorons.* »

Cette concorde entre la cosmologie des mondes multiples et la religion ne plaisait pas à tous les ecclésiastiques anglicans. Pour le prêtre John Henry Newman de Londres, elle allait vraiment trop loin. « *Dans la controverse sur la pluralité des mondes, il est considéré comme tellement impératif que le Créateur ait peuplé les astres d'êtres vivants, que cela paraît déjà presque un blasphème d'en douter* », se plaignait-il en 1870 dans son livre *Grammar of Assent*. Il se convertit au catholicisme, devint cardinal et devrait être prochainement béatifié par le pape.

En 1992, lors d'une visite du pape à Nola, lieu de naissance de Bruno, des fonctionnaires de l'Église catholique firent recouvrir un monument en son honneur afin d'épargner à Jean-Paul II la vision du provocateur de la Renaissance. Stephen Hawking rapporta que le pape Jean-Paul II avait tenté de le dissuader de faire des recherches sur le Big Bang parce qu'il s'agit de l'instant de la Création et donc de l'œuvre de Dieu. Hawking ne le contredit que mentalement : « *Je n'avais pas envie de partager le destin de Galilée.* » C'était avant que le Saint-Siège ne réhabilite officiellement Galilée, plus tard la même année.

Les temps changent donc aussi dans l'Église catholique, il faut juste attendre assez longtemps. Maintenant, la rédemption des extraterrestres est même à nouveau au programme. Le jésuite George Coyne, directeur depuis de nombreuses années de l'Observatoire du Vatican à Castel Gandolfo, s' imagine ainsi une conversation avec l'un d'entre eux :

Ma première question serait : es-tu intelligent ? Ensuite, nous discuterions de la manière dont on définit l'intelligence. Nous arrivons à la conclusion : comme moi, il est intelligent, il a une libre volonté, etc. Ensuite, je lui demande : as-tu une vie spirituelle ? Oh oui, dit-il, nous croyons à la vie éternelle et à un être tout-puissant. Formidable, alors je lui demande : avez-vous péché ? Derrière se trouve toute la discussion sur le péché originel. Admettons qu'il réponde oui, ses grands-parents lui ont raconté que les ancêtres ont un jour commis le péché, qu'il s'agisse ou non d'Adam et Ève, ils ne sont en tout cas plus dans l'état parfait dans lequel ils furent créés. Avez-vous été sauvés ? Oui, nous avons été sauvés. Comment avez-vous été sauvés ? Si maintenant il répond : nous avons été sauvés parce que Dieu nous a envoyé son fils unique, alors nous avons ici un petit problème théologique. Dieu pouvait-il nous envoyer son fils unique, Dieu véritable et homme véritable, et envoyer son fils unique, Dieu véritable et martien véritable, sur une autre planète ? Je ne vois pas comment cela serait possible. Mais mon imagination limitée ne signifie pas que ce n'est pas possible.

LE MULTIVERS N'EST PAS UN BLASPHEME

La théorie du multivers ne traite pas seulement du Big Bang, elle regarde bien au-delà. Elle ne prévoit pas un instant de la création, tel que Leibniz et Jean-Paul II se le représentaient. Et ainsi, de nombreux représentants de

l'Église la considère comme une ingérence inadmissible dans les questions de croyance. En 2005, Christoph Schönborn, archevêque de Vienne, protesta contre l'hypothèse du multivers dans un commentaire très suivi dans le *New York Times*. Elle aurait « *été établie pour éviter la preuve écrasante de l'intention et du dessein, qu'on trouve dans la science moderne* ». Elle ne serait donc « *pas scientifique, mais une abdication de la raison humaine*. »

Cela serait bien passé au Moyen-Âge. Mais au XXI^e siècle, les scientifiques ne laissent plus si facilement l'Église leur dicter ce qu'ils doivent penser : « *Les préjugés religieux comme ceux-ci ne peuvent résoudre aucune question scientifique* », répondit le prix Nobel Weinberg au cardinal Schönborn.

Mais les ecclésiastiques conservateurs ne sont pas les seuls à rejeter le multivers. Richard Swinburne de l'Université d'Oxford, grec-orthodoxe et l'un des philosophes de la religion vivants les plus importants, n'a pas plus de considération pour le multivers que le cardinal Schönborn et ce, pour des raisons tout à fait similaires. Ce serait « *le paroxysme de l'irrationalité de postuler l'existence d'un nombre infini d'Univers causalement séparés, simplement pour éviter l'hypothèse de l'existence de Dieu*. » Le réglage bizarre des lois physiques n'est pour lui ni un hasard ni une nécessité, mais une empreinte de la main divine sur le monde. Car Dieu avait surtout la beauté à l'esprit en créant le monde, pense Swinburne. Et cette beauté se révèle dans le développement des galaxies, des étoiles et des planètes. Dieu a donc « *eu tout lieu d'actionner ce processus de développement par le Big Bang, même s'il était alors le seul à pouvoir y assister. Aujourd'hui, Dieu n'est plus le seul à pouvoir observer le Big Bang, nous pouvons voir à travers nos télescopes qui regardent en arrière de plus en plus loin jusqu'aux premières phases de l'Univers*. » Naturellement, Dieu avait le pouvoir de créer un multivers. Mais dans quel but, si personne ne peut en admirer la beauté ? « *Cela ne servirait à rien* », pense Swinburne.

Le multivers et la croyance en Dieu alimentent la querelle de nombreux théologiens et cosmologistes, mais certains s'y connaissent dans les deux domaines et croient aux deux. Don Page par exemple est professeur de physique théorique à l'Université d'Alberta, Canada et chrétien déclaré. Il veut convaincre les autres chrétiens « *que l'idée de multivers ne contredit pas forcément le christianisme* ». Bien au contraire, affirme Page : on doit également reconnaître à un Dieu tout-puissant la capacité de créer un multivers. Dieu aurait de bonnes raisons d'avoir créé un grand multivers plutôt qu'un petit Univers, pense Page : « *Peut-être tenait-Il davantage à l'économie des principes qu'à l'économie des matériaux de construction*. » Mais quelle liberté de décision resterait-il encore à un créateur dans un multivers ? Suffisamment, affirme Page. Le seul fait de créer un multivers serait déjà une décision souveraine du Créateur.

Tandis que les chrétiens comme Page s'efforcent de concilier l'histoire de la Création biblique et la science moderne, le multivers rencontre beaucoup moins de résistances pour s'intégrer dans d'autres religions. Selon

l'interprétation de certains cabalistes juifs de l'histoire de la création, Dieu se serait d'abord exercé. Ils interprètent la phrase du livre de la Genèse : « *Dieu considéra toute son œuvre et il vit que cela était très bon* » comme signifiant qu'il avait dû échouer quelques fois auparavant. Dieu avait créé de nombreux Univers et ensuite béni le meilleur d'entre eux. « *Le multivers est "très bon"* », explique l'astrophysicien Howard Smith du Harvard-Smithsonian Center for Astrophysics.

Dans l'idéologie hindouiste, l'idée d'un multivers est intégrée d'emblée : l'éternel retour de tous.

La formation et la destruction des mondes alternent. « *L'idée d'un début du monde est plutôt étrangère aux Indiens* », pense le physicien allemand Martin Bojowald, qui travaille sur une théorie d'un multivers sériel. Lorsqu'il donne des conférences en Inde sur l'époque précédant le Big Bang, il constate ceci : « *Ils trouvent mes idées tout à fait normales.* »

Friedrich Nietzsche croyait lui aussi à un multivers sériel. Il ne faisait aucun cas de la religion. Par son idée de l'éternel retour de tout, il voulait supprimer Dieu. « *Qui ne croit au processus cyclique du Tout, il lui faut croire au dieu arbitraire* », écrivit-il. Lui préféra le processus cyclique.

Depuis peu, le multivers recrute également dans les rangs des philosophes de la religion chrétiens. Par exemple Klaas Kraay de l'Université Ryerson de Toronto, qui considère même le multivers comme étant « *incontestablement le meilleur de tous les mondes possible* », en hommage à Leibniz. « *Si Dieu avait négligé de créer réellement tous les Univers dignes d'être créés, son œuvre aurait pu être surpassée* », affirme Kraay. Et parce que la puissance, le savoir et la bonté de Dieu sont insurpassables, nous devrions pouvoir attendre un multivers de sa part.

Tout ceci ressemble étrangement au passé, à Aristote, à l'évêque Tempier, à Bruno et Leibniz. Et en vérité, la discussion est restée la même : où finit le savoir, où commence la croyance ? Seules les lignes de front se sont décalées au cours des millénaires. Dans les temps antiques, les dieux devaient encore intervenir pour la moindre brouille afin de continuer à faire tourner le monde. Lorsqu'il y avait de l'orage, le dieu nordique du tonnerre brandissait son marteau. Lorsque le Soleil traversait le firmament, le dieu indien du soleil Sûrya attelait son char tandis que son collègue égyptien prenait sa barque. Les saisons, les arcs-en-ciel, la maladie, la guérison : rien ne fonctionnait sans les dieux.

Puis, la science automatisa le monde. Maintenant, le tonnerre gronde à cause de l'expansion soudaine de l'air autour d'un éclair qui produit un bang supersonique. Les saisons proviennent de l'inclinaison de l'axe de la Terre, les arcs-en-ciel de la réfraction dans les gouttelettes d'eau en suspension et les maladies, des germes. Le profil requis pour le ou les dieux est passé de manager du monde à mécanicien cosmique de précision qui règle au début le système planétaire ou le Big Bang comme un parfait mécanisme d'horlogerie.

Les anciens dieux ont fabriqué, remonté et constamment réglé le

mécanisme d'horlogerie cosmique. Les dieux suivants l'ont seulement créé et remonté. Mais dans le multivers, Dieu a encore une occupation : il a créé. « *Il y a toujours une place pour Dieu* », affirme le physicien Paul Steinhardt, « *il faut bien que quelque chose ait installé l'ensemble du système.* » Il insiste : la religion ne devrait pas se mêler des affaires scientifiques ni la science des affaires religieuses. « *Nous devons éviter d'utiliser Dieu pour remplir les lacunes de la science* », explique le jésuite et astrophysicien William Stoeger de l'Observatoire du Vatican. Le père jésuite George Coyne argumente de la même manière : « *Dieu n'est pas une condition marginale de l'Univers. On ne peut pas réfuter l'existence de Dieu à l'aide de la physique quantique, ni la prouver. La science est absolument neutre vis-à-vis des conclusions religieuses, philosophiques et théologiques.* » L'association de la croyance et de la science énerve Coyne. « *Je dois faire avancer mes idées scientifiques, je ne peux pas continuellement me demander si Jésus est apparu sur d'autres planètes ou si je baptiserai un jour des extraterrestres.* »

Même la Bible peut être interprétée de manière à ce que les preuves scientifiques de l'existence de Dieu, avec ou sans multivers, soient vaines. Ainsi, dans l'évangile selon saint Matthieu, « *quelques scribes et pharisiens* », les intellectuels de l'époque, prient Jésus : « *Maître, nous voudrions te voir faire un miracle.* » Jésus répond : « *Cette engeance perverse et infidèle demande un signe : il ne lui en sera donné d'autre que celui du prophète Jonas. De même que Jonas demeura trois jours et trois nuits dans le ventre du poisson, le Fils de l'Homme demeurera trois jours et trois nuits dans le sein de la terre.* » En d'autres termes : il n'y a pas d'autre signe que sa propre résurrection. C'est un miracle. Pas de la science.

Épilogue

Dialogue sur les systèmes-mondes

Un soir de 2009, tard, dans un bureau de Munich. Les deux auteurs de ce livre sauvegardent un fichier et se regardent avec des yeux rougis.

Max : Terminé ! Enfin.

Tobias : Hum. Il manque encore quelque chose, je trouve.

Max : Quoi encore ? Nous devons l'envoyer demain !

Tobias : Vivons-nous vraiment dans un multivers ?

Max : Nous ne pouvons pas répondre à cette question, nous n'en savons rien. Les physiciens devraient y répondre un jour. C'est ce que nous avons écrit.

Tobias : Et si la réponse était « non » ? Tout ce livre aurait été écrit en pure perte.

Max : Pas forcément. L'idée est suffisamment intéressante pour garder son intérêt même si elle est fausse.

Tobias : Oh non, je viens de penser à quelque chose...

Max : Quoi ?

Tobias :... la réponse est « non » dans tous les cas ! Le multivers n'existe pas !

Max : Et pourquoi ça ?

Tobias : Si la réponse est « oui », il existe un multivers et donc tous les mondes possibles. Et donc également certains mondes dans lesquels la réponse est « non ».

Max : Encore une de tes arguties logiques ! Dans ce cas, les scientifiques de cet Univers se trompent simplement. Ils affirment qu'il n'existe pas de multivers, mais en réalité il y en a un. Ils ont juste fait une erreur de calcul. Ça arrive à tout le monde.

Tobias : Mais si nous vivons dans l'un de ces Univers, nous ne nous rendrons pas compte que les physiciens se trompent.

Max : Mais comme je l'ai dit, l'idée reste intéressante même si la réponse est « non ».

Tobias : Me voilà rassuré.

Pour aller plus loin

Aurélien BARRAU, *Multivers. Mondes possibles de l'astrophysique, de la philosophie et de l'imaginaire*, La Ville Brûle, 2010.

John D. BARROW, *La Grande théorie : Les limites d'une explication globale en physique*, Flammarion, coll. « Champ », 1999.

—, *Les origines de l'Univers*, Hachette, coll. « Pluriel », 2000.

—, *Les constantes de la nature*, Odile Jacob, coll. « Sciences », 2005.

—, *Une brève histoire de l'Infini*, Robert Laffont, 2008.

David DEUTSCH, *L'étoffe de la réalité*, Cassini, coll. « Le sel et le fer », 2002.

Owen GINGERICH, *Le Livre que personne n'a lu. À la poursuite du De revolutionibus de Copernic*, Dunod, coll. « Quai des sciences », 2008.

Brian GREENE, *L'Univers élégant*, Gallimard, coll. « Folio Essais », 2005.

Franck LALOË, *Comprenons-nous vraiment la mécanique quantique ?*, EDP Sciences, 2011.

Léonard SUSSKIND, *Le paysage cosmique. Notre Univers en cacherait-il des millions d'autres ?*, Gallimard, coll. « Folio Essais », 2008.

—, *Trous noirs, la guerre des savants*, Robert Laffont, 2010.

Lee SMOLIN, *Rien ne va plus en physique ! L'échec de la théorie des cordes*, Point, 2010.

Retrouvez tous les ouvrages de CNRS Éditions
sur notre site
www.cnrseditions.fr